Séquence 1

Le domaine continental et sa dynamique : caractéristiques et évolution de la lithosphère continentale

Objectifs

Cette séquence permettra de caractériser la croûte continentale du point de vue de sa densité, de son âge et de son épaisseur.

On montrera que les chaînes de montagnes sont des systèmes dynamiques.

Des indices tectoniques (plis, nappes et failles) et pétrographiques (métamorphismes, traces de fusion partielle) permettront d'en comprendre l'origine.

L'altération, l'érosion mais également des phénomènes tectoniques tendent à faire disparaître les reliefs et constituent un vaste recyclage de la croûte continentale.

Sommaire



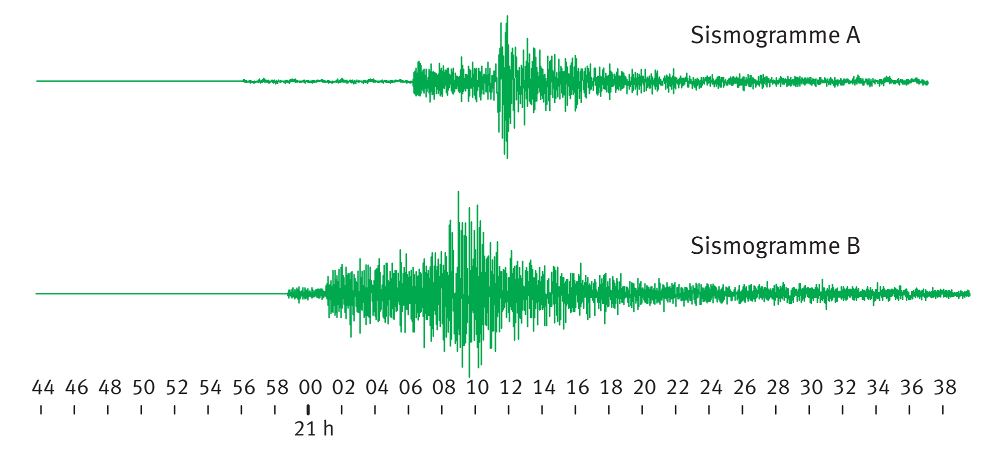
Prérequis

Exercice 1	**Connaître la structure interne de la Terre** *Calculer et lire un graphique*
Exercice 2	**Principe de propagation des ondes sismiques** *Raisonner*
Exercice 3	**Construire un modèle** *S'informer, réaliser un graphique*
Exercice 4	**Étude minéralogique de la croûte océanique** *Identifier des échantillons*
Exercice 5	**Étude comparée de la croûte océanique et continentale** *Recenser, extraire et organiser des informations sous forme de schéma*
Exercice 6	**Étude minéralogique de la croûte continentale** *Identifier des échantillons*
Exercice 7	**Origine de la lithosphère par fusion partielle** *Recenser, extraire et organiser des informations sous forme de schéma*

Exercice 1 Connaître la structure interne de la Terre

Document 1 *Sismogramme obtenu en Australie et à Hawaii*

Le séisme de Kobe (Japon) a eu lieu le 17 janvier 1995 à 20h46 et a été enregistré dans plusieurs stations sismiques du monde.



Questions

1. Rappeler l'origine d'une onde sismique et la technique utilisée pour l'enregistrer.
2. Indiquer quel sismogramme a été enregistré en Australie, situé à 7 870 km de Kobe, et à Hawaii, 6 630 km.
3. Repérer, sur les sismogrammes,
   - les ondes profondes :
     P, primaires
     S, secondaires ;
   - les ondes superficielles : L.
4. Le tableau ci-dessous donne les heures d'arrivée dans les stations d'hawaii et la station de Camberra en Australie. Calculer, pour chaque station la vitesse de propagation des ondes P et S.

	Hawaii	Australie
Heure arrivée des ondes P	20H57	20h59
Heure arrivée des ondes S	21H05	21H08

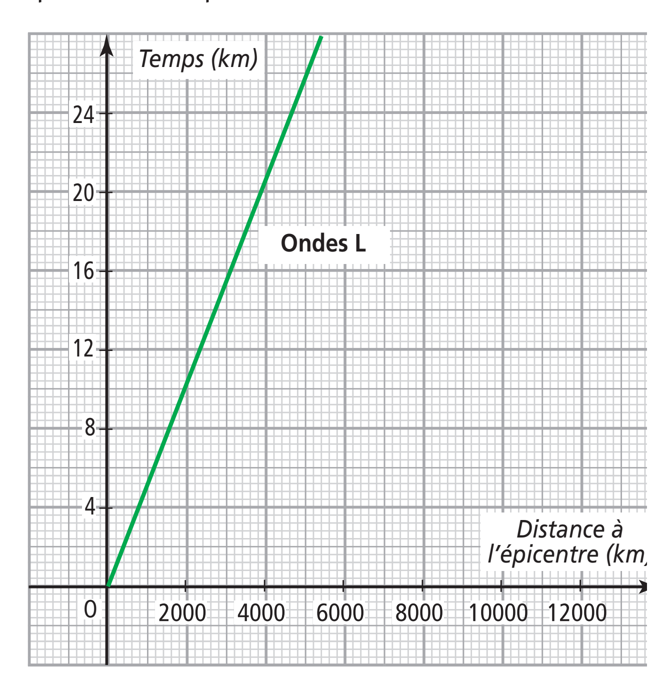
Pour une station sismique située à 2000 km de l'épicentre, on a enregistré le passage des ondes sismiques P, 290 secondes après le séisme. Utiliser l'ensemble de ces informations afin de formuler un constat.

Document 2 ***Hodographe***

Les hodochrones (ou courbes de propagation) représentent les temps d'arrivée des différentes ondes sismiques à la station d'enregistrement, en fonction de la distance épicentrale exprimée en kilomètres.

Question

5. À l'aide de vos résultats précédents, schématiser l'hodochrone des ondes P.



Question

6. À l'aide des informations ci-après, donner une explication au constat formulé en question 4.



Informations scientifiques

- Une onde qui se propage dans un milieu homogène a une vitesse constante.
- La vitesse de propagation est une fonction croissante de la masse volumique du matériel dans lequel elle se propage. On aura des vitesses caractéristiques de la nature de la roche traversée.

Exercice 2 Principe de propagation des ondes

La vitesse des ondes sismiques peut être mesurée au laboratoire pour différents types de roches. Cette vitesse est constante dans un milieu homogène.

Document 1 *Vitesse de propagation d'une onde sismique (cas de l'onde la plus rapide)*

Type de roche	Vitesse en km.s-1
Eau	1,5
Sédiments	1,7-3,7
Roches sédimentaires	3,5-5,5
Granite	5,6-6,3
Basalte	4,5-5,5
Gabbro	6,5-7,1
Gneiss	6,5-7,6
Péridotite	8-12

Document 2 *Propriétés des ondes sismiques*

- Une onde qui se propage dans un milieu homogène a une vitesse constante.
- La vitesse de propagation est une fonction croissante de la masse volumique du matériel dans lequel elle se propage. On aura des vitesses caractéristiques de la nature de la roche traversée.
- Lorsqu'une onde passe d'un milieu à un autre, sa vitesse varie brutalement.
- De plus, d'autres expériences ont également révélé que les ondes P se propagent dans les milieux liquides et solides tandis que les ondes S ne se propagent pas dans les milieux liquides.
- Les ondes sont déviées lorsqu'elles rencontrent un milieu physiquement et/ou chimiquement différent alors que, dans un milieu homogène, elles se propagent en ligne droite. La zone à la surface de laquelle l'onde est réfléchie et réfractée correspond à une limite entre deux milieux de composition physico-chimique différente ; elle est appelée **discontinuité**.

Questions

1. Nommer les ondes qui ont permis le calcul de ces vitesses (P, S ou L).
2. Donner l'intérêt du calcul de la vitesse des ondes lors d'un séisme.
3. Dessiner le principe de propagation des rais sismiques.

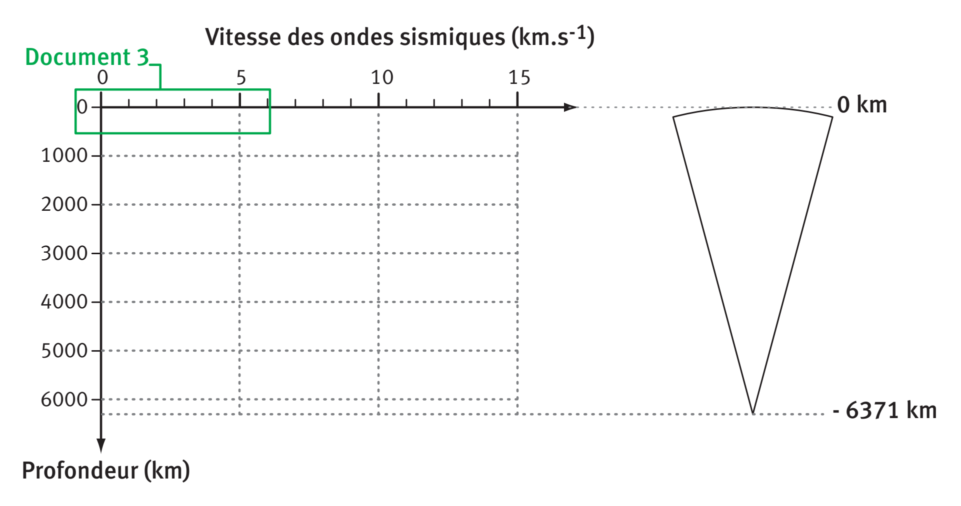
Exercice 3 Un modèle sismologique de la Terre interne

Document 1 *Vitesse de propagation des ondes P et S en fonction de la masse volumique du milieu traversé et de la profondeur*

En laboratoire, il est possible de mesurer la vitesse de propagation des ondes dans différents milieux. De plus, des études sur le terrain, en créant des miniséismes dans les océans, ont permis de mesurer la vitesse des ondes en fonction de la profondeur du milieu traversé.

Profondeur km	Vp $km.s^{-1}$	Vs $km.s^{-1}$	Masse volumique $g.cm^{-3}$
0	6	4	3
80	8	4,5	3,3
150	8	4,5	3,3
400	9	5	3,7
1 000	11	6	4,6
2 000	13	7	5
2 900	13,5	7,5	5,5
3 000	8	0	10
4 000	9	0	11,3
5 000	10	0	12
5 150	11	3,5	12,5
6 000	11	4	13

Document 2 *Portion de globe terrestre et matrice de la vitesse des ondes sismiques (en km. s^{-1}) en fonction de la profondeur (en km)*



Questions

❶ À partir du tableau, construire les courbes des vitesses des ondes P et S en fonction de la profondeur sur le document 2.

❷ Sur la coupe de Terre (document 2), proposer un modèle de la structure profonde de la Terre : positionner les limites des « couches » constituants la Terre.

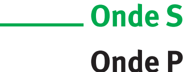
Remarque

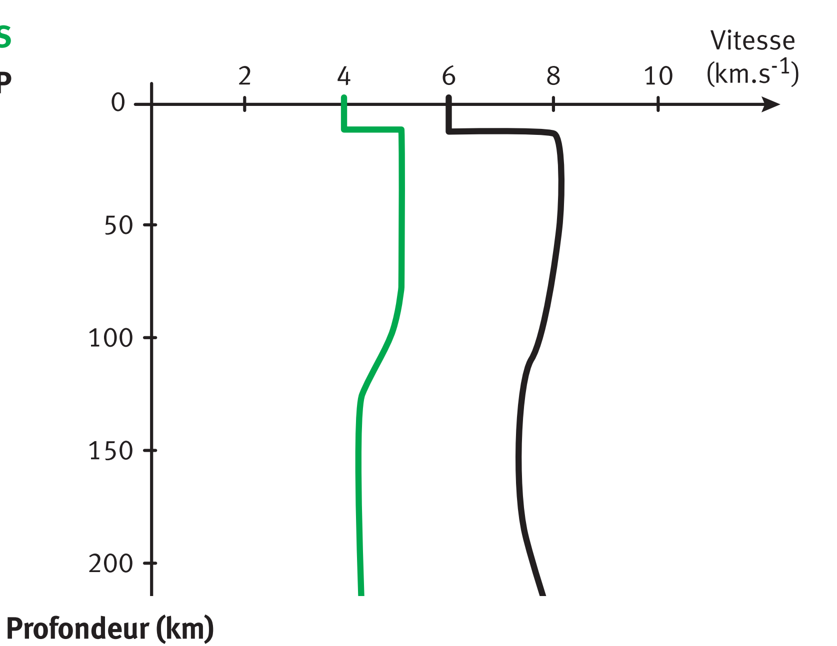
L'échelle utilisée dans le document 2 ne permet pas de déterminer précisément ce qui se passe dans la partie superficielle de la Terre. Afin d'affiner le modèle, nous allons faire un zoom sur la partie superficielle de la Terre.

Document 3

Vitesse des ondes sismiques S et P en km.s^{-1} en milieu océanique

Ces vitesses sont obtenues à partir de la tomographie sismique. C'est une méthode utilisant l'enregistrement de l'arrivée des ondes sismiques émises lors de tremblements de terre naturels ou provoqués et dont l'interprétation des temps d'arrivée les uns relativement aux autres, et en différents lieux, permet de remonter aux variations spatiales des vitesses de propagation de ces ondes à l'intérieur du globe terrestre.

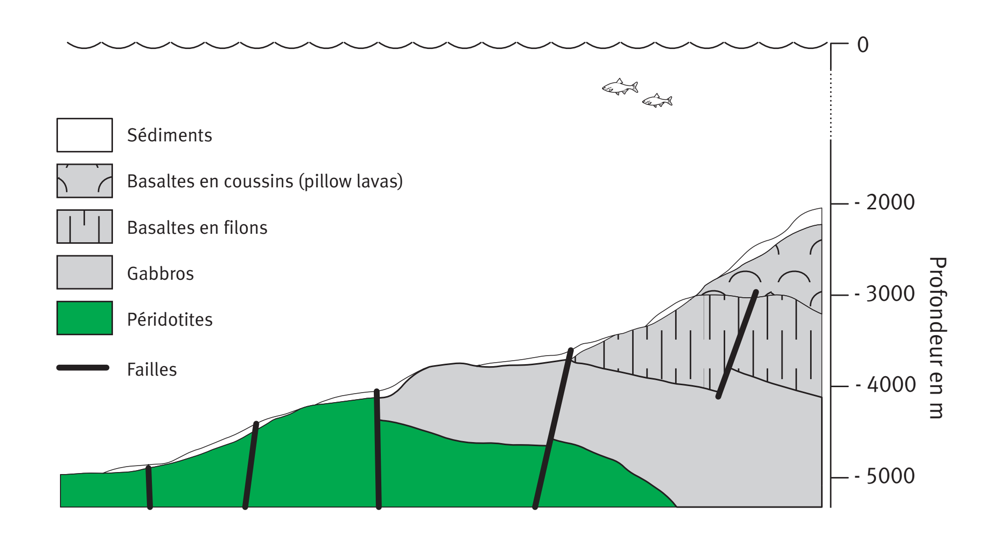




Document 4

Représentation en coupe de la disposition des roches observées au niveau de la fracture de Véma

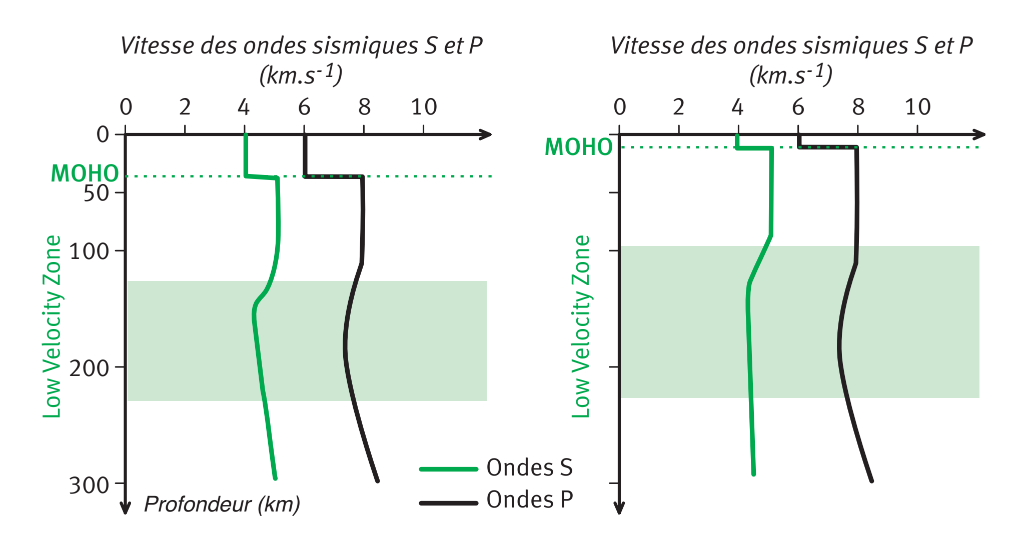
Dans l'Atlantique central, au large des côtes vénézuéliennes, au sein des fonds océaniques, une grande fracture permet d'observer les roches de ces fonds « en place ». Ces données ont été obtenues à partir d'observations réalisées à bord du submersible *Nautile*.



❸ Montrez que les données sismologiques confortent les données pétrologiques.

Exercice 4 Comparaison des croûtes océanique et continentale

Document 1 *Vitesse des ondes sismiques P en profondeur sous les continents (à gauche) et sous les océans (à droite)*



Questions

❶ À l'aide des mesures de vitesse de propagation des ondes P dans différents milieux (document 1, exercice 2) et de vos connaissances, indiquer la composition verticale de la croûte continentale.

❷ Schématiser d'une part la lithosphère océanique et d'autre part la lithosphère continentale, en précisant les noms des roches et leurs épaisseurs moyennes. Aidez-vous des conseils du point méthode ci-dessous.

Point méthode

Réussir son schéma : mon schéma est réussi si...

- il est de taille raisonnable (8-20 cm) ;
- j'ai mis de la couleur ;
- il y a un titre approprié ;
- il y a des légendes complètes ;
- les traits de légende sont tracés à la règle et ne se croisent pas ;
- mon schéma est propre.

Un schéma correspond à une **interprétation** ou à une explication d'un processus.

Au contraire, un dessin correspond à une **description** : il doit donc être le plus fidèle à l'observation possible.

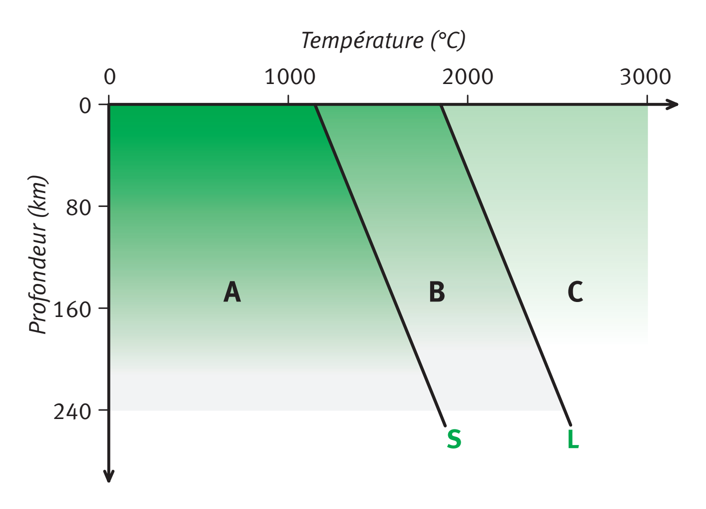
On remarque qu'un dessin peut être parfaitement réussi par quelqu'un qui n'y connaît rien en sciences, alors que le schéma nécessite de comprendre ce que l'on veut représenter.

Exercice 5 L'origine de la lithosphère

Recenser, extraire et organiser des informations

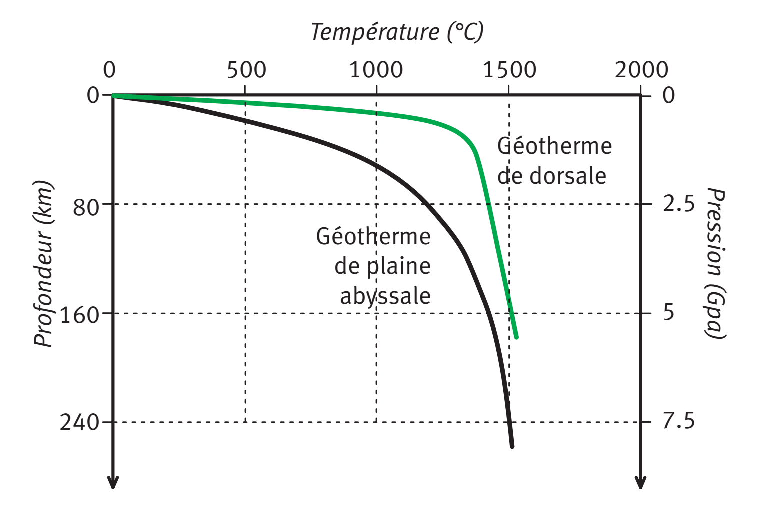
Document 1 ***Résultat d'une expérience de fusion de péridotite en laboratoire***

Des échantillons de péridotites sont soumis à des T° croissantes pour différentes pressions afin de déterminer les conditions de fusion de la péridotite mantellique.



S = solidus séparant A (péridotite solide) de B (péridotite partiellement fondue). **L** = liquidus séparant B (péridotite partiellement fondue) de C (péridotite liquide).

Document 2 ***Géothermes à l'aplomb du domaine océanique***



Question ❶ Mise en relation des données des deux graphiques :

- Transposer le solidus du document 1 sur le document 2 (au mm près).
- Colorier le domaine de fusion partielle des péridotites.
- Indiquer les profondeurs et pressions correspondant à cette fusion (au km près et à 0,03 Gpa près).

Document 3 ***Fusion partielle de la péridotite et composition chimique du basalte.*** *Des échantillons de péridotites broyées sont placés en autoclave afin d'obtenir une fusion partielle de 5 % à 40 % ; le matériel fondu (magma) est analysé.*

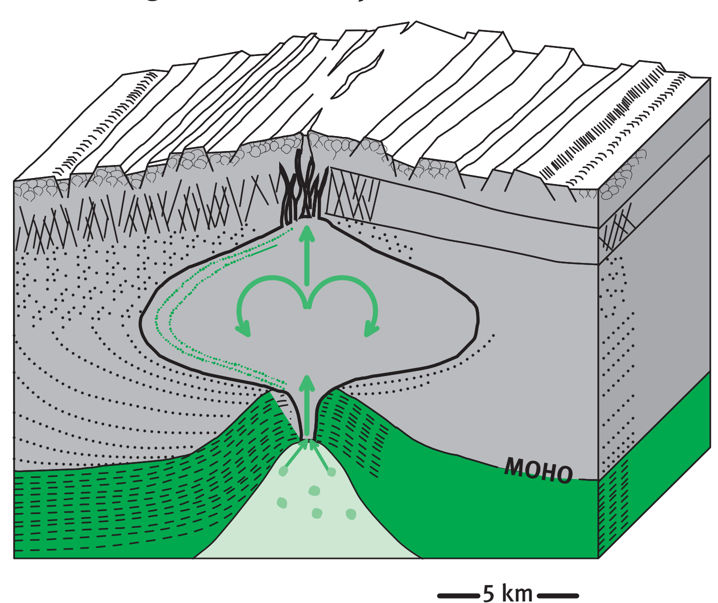
Composition chimique	Basalte de la dorsale	Péridotite utilisée lors de l'expérience	% de fusion / composition magma					
			5 %	15 %	20 %	25 %	30 %	40 %
SiO_2	48	44,9	47	48	48,8	50,1	50,5	51,6
Al_2O_3	14,3	3,2	15,7	13,2	12,8	11,8	10,5	7,8
Fe_2O_3	11	8,6	13,9	12,1	8,9	8,3	8,9	8,4
MgO	12	40	10,4	12	15,4	18,8	19,2	23,9
CaO	12	3	9,2	12,6	13,2	10,1	9,9	7,4
Na_2O	2,2	0,2	2,6	1,5	1,1	0,8	0,9	0,8
K_2O	0,5	0,1	1,2	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1

Questions ❷ En utilisant le document 3, déterminer le taux de fusion partielle de la péridotite qui permet d'obtenir le magma basaltique.

❸ En utilisant les données accumulées, et à l'aide de l'animation trouvée en tapant les mots : « **remontée**, **asthénosphère**, **animation** », rédiger un texte court expliquant l'apparition de magmas sous les dorsales.

❹ Compléter le schéma bilan (document 4) avec les termes suivants : péridotites résiduelles, gabbros, basaltes, manteau en fusion partielle, chambre magmatique, filons (remontées de magmas).

Document 4 ***Schéma bilan : l'origine de la lithosphère***



Bilan et acquis

L'étude du globe au moyen d'ondes sismiques montre que la croûte et le **manteau terrestre** sont sous forme solide.

La différence d'altitude entre la croûte océanique et la croûte continentale reflète une différence de composition. La **croûte continentale**, épaisse (30 km), est de nature granitique (**granite** et **gneiss**). Cette roche contient essentiellement du **quartz**, des **feldspaths** et de la **biotite**. La **croûte océanique**, mince (10 km), est constituée de **basaltes** surmontant des **gabbros**. Le basalte est une roche sombre, contenant des **feldspaths** et des **pyroxènes** dans une importante **matrice de verre**. Le gabbro est constitué des mêmes minéraux que le basalte, mais la roche est **entièrement cristallisée** (pas de verre). Les deux croûtes reposent sur le **manteau terrestre**, formé de **péridotite** (une roche verte contenant de l'**olivine** en grande quantité) plus des **pyroxènes** et des **amphiboles**. On appelle **lithosphère** l'ensemble formé de la croûte et de la partie superficielle du manteau. Le **Moho** est une discontinuité chimique qui sépare la croûte du manteau.

Les magmas sont issus d'une **fusion partielle** de péridotites de l'asthénosphère. Celle-ci est due à une **remontée de l'asthénosphère** qui génère une **décompression adiabatique** (sans perte de chaleur).

Ce magma, en se refroidissant, donnera naissance à du basalte et du gabbro qui ont des compositions chimiques différentes des péridotites dont ils sont issus.

Schéma bilan

Comparaison de la composition et de l'organisation des croûtes océanique et continentale.

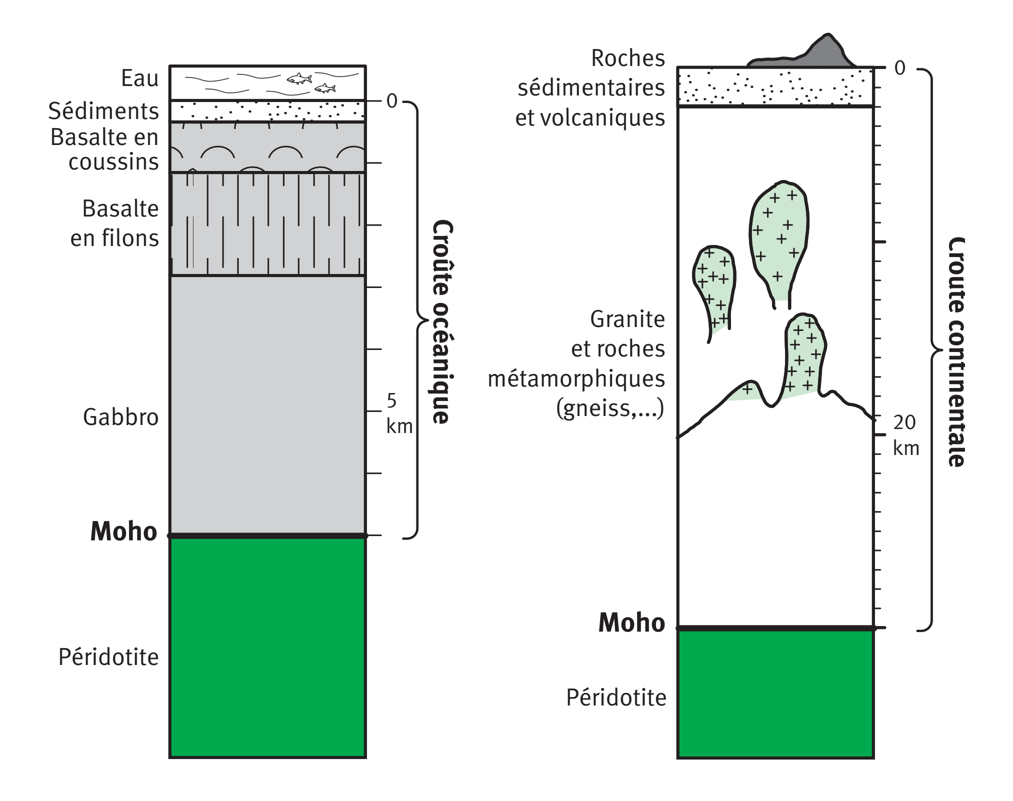
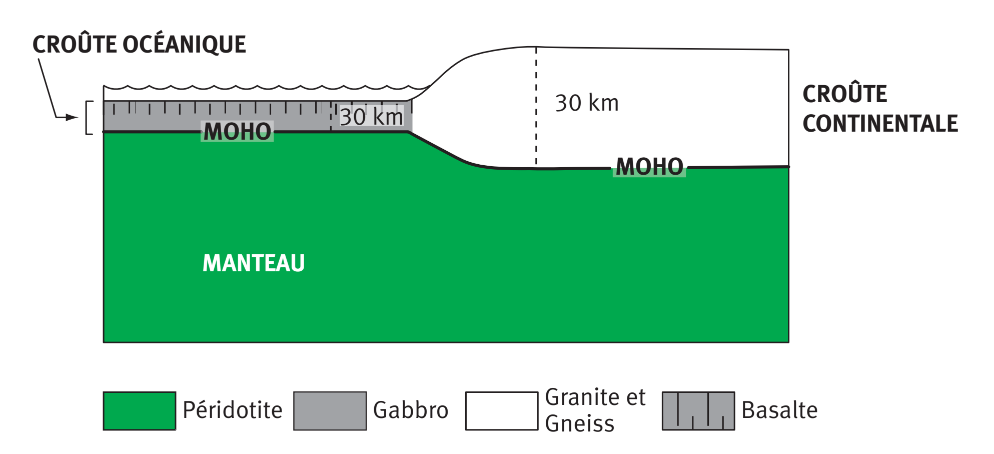


Schéma simplifié de la localisation des croûtes océanique et continentale



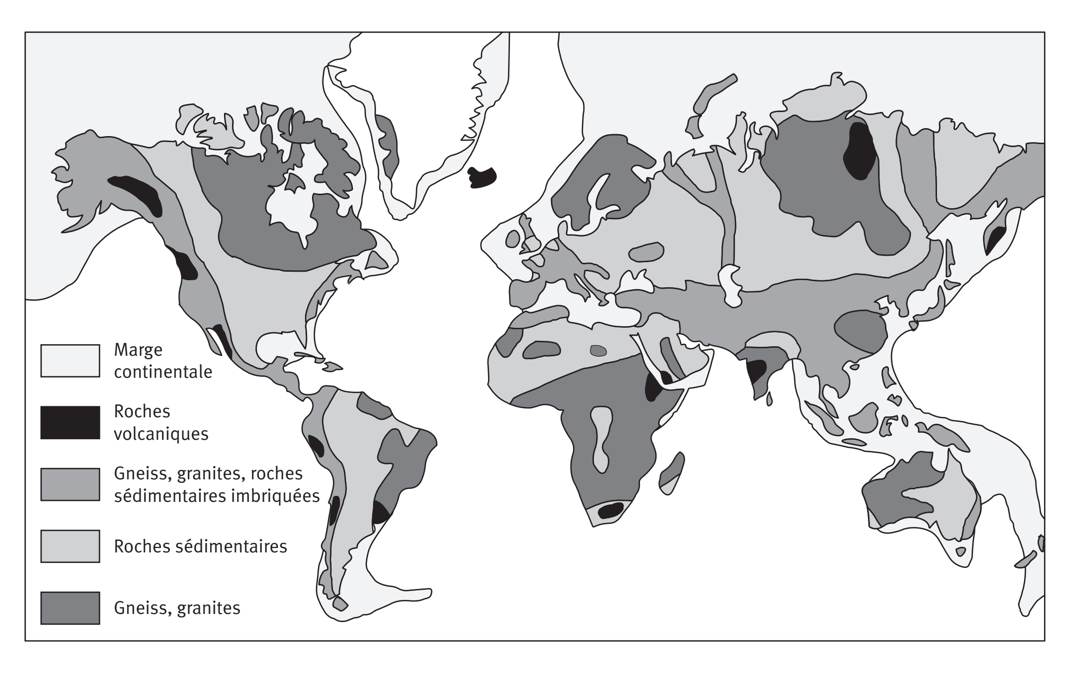


Chapitre 2 Les caractéristiques de la croûte continentale

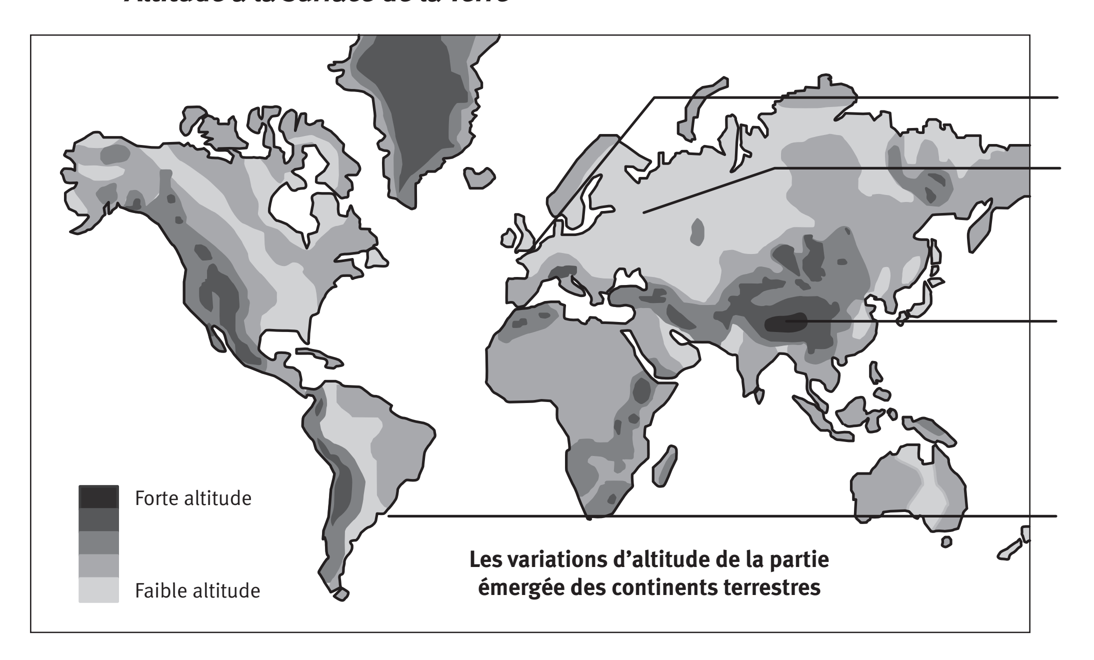


A Pour débuter

Document 1 *Répartition des grands types de roches présentes à la surface de la Terre*



Document 2 *Altitude à la surface de la Terre*



Afin d'obtenir les altitudes, télécharger le **logiciel Tectoglob**. Pour le trouver, taper le mot « tectoglob » dans un moteur de recherche.

❶ À l'aide du logiciel Tectoglob, **trouver les altitudes** des zones pointées sur le planisphère du document 2. (Cf. Mode d'emploi en annexe 2.)

❷ **Délimiter les continents** et localiser la croûte continentale.

❸ **Indiquer la nature** de la croûte au niveau de la Manche et les altitudes que l'on y trouve.

❹ **Citer les roches** les plus représentatives de la croûte continentale.

Bilan

On observe que la croûte constituant les fonds océaniques de la Manche est de nature continentale. On retrouve donc de la croûte continentale dans le domaine marin. La croûte continentale affleure dans les régions émergées en majorité.

➥ **Comment expliquer cette situation ? Peut-on généraliser cette observation ?**



Cours

1. L'épaisseur de la croûte continentale

a) La détermination de cette épaisseur

Activité 1 — **Des outils pour calculer la profondeur du Moho**

Document 3 — ***La profondeur du Moho sous les Alpes***

Les ondes sismiques émises au cours des séismes se propagent dans le globe. La propagation de ces ondes doit nous apporter des informations quant à la structure du globe.

On étudie un séisme qui a eu lieu en Italie (région d'Asti) le 21 janvier 2007.

Questions

❶ **Extraction des sismogrammes**

- Ouvrir le site de Sismos à l'école en tapant les mots-clés SISMOS et école dans un moteur de recherche.
- Rechercher dans la base de données le séisme correspondant (**données sismiques**) : ***événements sismiques/sismogrammes sélectionnés par le réseau/accéder au moteur de recherche/date : année 2007 en entier /21.01.2007*** *(Région d'Asti).*
- **Afficher les sismogrammes** de la composante verticale (Z) pour les stations notées en jaune.
- Un nouveau logiciel s'ouvre : Séisgram.

Ouvrir les sismogrammes pour la station DRGF avec le logiciel Seisgram2K.



❷ **Repérer les ondes P et les ondes S** puis effectuer un pointé pour chacune d'elles.

❸ On remarque une diminution de l'amplitude des ondes P puis une reprise du signal avant l'arrivée des ondes S :

- À quoi peuvent correspondre ces ondes que l'on va noter « Autre » ?
- Pointer ces ondes pour afficher le décalage entre leur arrivée et celle des ondes P.
- Aller dans « Affichage » « Sismogramme Info » pour obtenir les informations suivantes concernant le séisme :
  - coordonnées de l'épicentre,
  - profondeur du foyer,
  - coordonnées de la station DRGF l'ayant enregistré,
  - distance épicentrale.

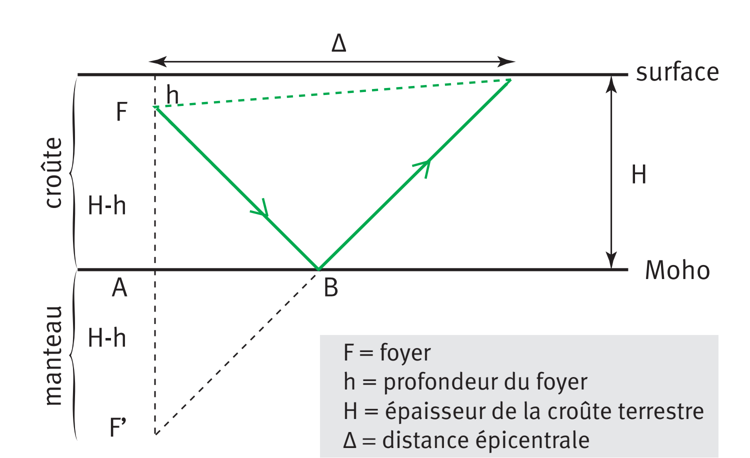
❹ **Réorganiser les différentes fenêtres** pour faire une copie d'écran à insérer dans la feuille « Calcul_Moho.xls ».

❺ **Calcul de la profondeur du Moho, c'est-à-dire** l'épaisseur de la croûte terrestre dans cette région

Parmi les ondes P, on distingue plusieurs sortes d'ondes se propageant selon des parcours différents (voir diagramme ci-dessous) depuis le foyer jusqu'à la station :

– ondes P directes à une vitesse moyenne de 6,25 km.s^{-1},

– ondes PMP réfléchies sur le Moho, même vitesse (« Autre »).



Trajet des ondes PMP ________

Trajet des ondes P directes __ __ __

σt = t $_{PMP}$ – t $_{P}$ (⇔ retard en secondes entre les ondes PMP réfléchies et les ondes P directes)

Aide

On peut appliquer le théorème de Pythagore :

$$H=\frac{1}{2}\left[h+\sqrt{\left(V.\sigma t+\sqrt{h^2+\Delta^2}\right)^2-\Delta^2}\right]$$

D'où la détermination possible de la position du point de réflexion ; AB représente la distance épicentre–point de réflexion :

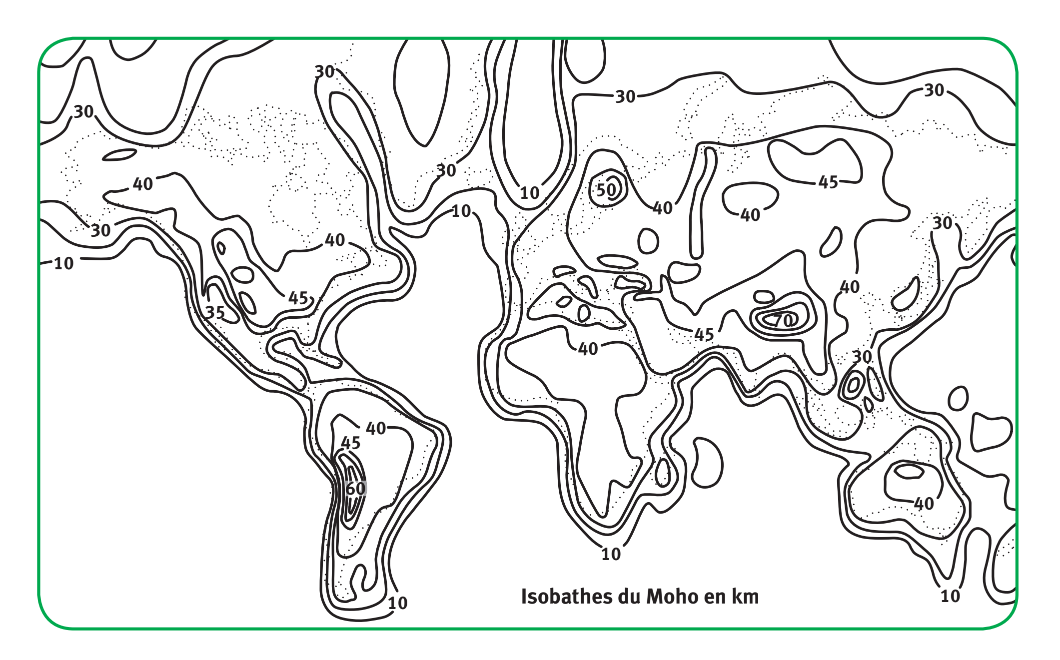
$$\frac{H-h}{2H-h}=\frac{AB}{\Delta} \quad d'où \quad AB=\frac{H-h}{2H-h}\Delta$$

À retenir

La lithosphère, formée d'une croûte et de la partie supérieure du manteau (manteau lithosphérique), repose sur l'asthénosphère. La limite entre l'asthénosphère et la lithosphère se nomme le Moho.

Sous les océans, le Moho est à une profondeur de 10 km contre 30 km sous les continents mais sous les montagnes, le Moho est à une profondeur de 70 Km. La croûte continentale est donc plus épaisse sous les montagnes.

Document 4 *Profondeur du Moho à la surface du globe*



➥ **On cherche à comprendre pourquoi la croûte continentale est plus épaisse sous les montagnes.**

b) La notion d'isostasie

Activité 2 L'équilibre de la croûte continentale sur l'asthénosphère : l'isostasie

Un peu d'histoire des sciences

Le phénomène d'isostasie fut mis en évidence, pour la première fois, il y a plus de 250 ans, par l'astronome français Pierre Bouguer. Lors de l'expédition au Pérou de 1736-1743, menée afin de mesurer la longueur d'un arc de méridien terrestre, Bouguer releva, à cette occasion, une différence (dite anomalie) significative de la pesanteur entre des mesures effectuées dans les Andes et au niveau de la mer.

L'**anomalie gravimétrique de Bouguer** est la *différence* entre le champ de pesanteur terrestre *mesuré* et le champ de pesanteur *théorique*, calculé en tenant compte :

- de la masse de la Terre,
- des variations du champ de la pesanteur attribuables aux différences d'altitudes des sites de mesure,



- de la latitude entre ces sites,
- des fluctuations de la pesanteur engendrées par les marées terrestres (similaires aux marées océaniques, mais ce sont les petites déformations que subit la Terre sous l'influence du champ de la pesanteur).

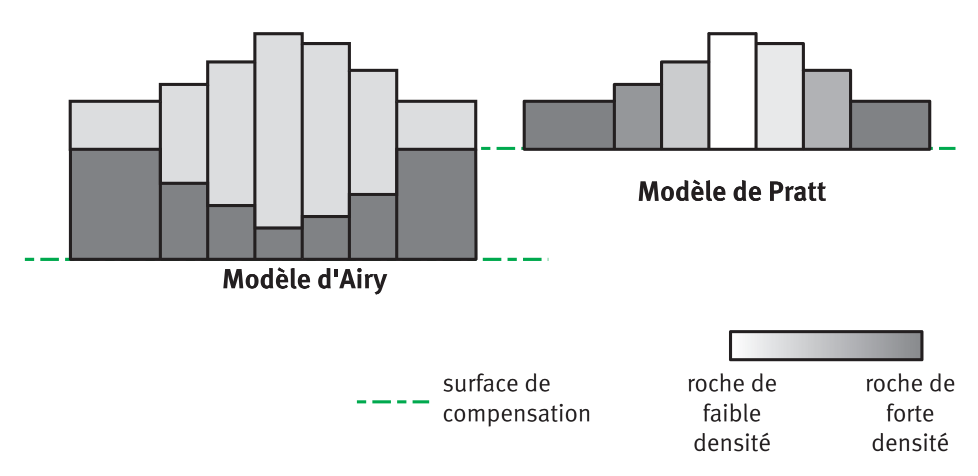
Un siècle plus tard, des observations similaires dans l'Himalaya furent apportées par George Everest, indiquant que **l'attraction gravitationnelle des montagnes apparaît systématiquement plus faible que prévu par les modèles prenant en compte l'excès de masse de celles-ci**.

Ainsi, on s'est demandé si l'excès de masse au niveau des montagnes ne pouvait pas être compensé par un déficit de masse en profondeur.

On nomme ainsi **surface de compensation** la profondeur au niveau de laquelle la pression est identique quel que soit le relief au-dessus.

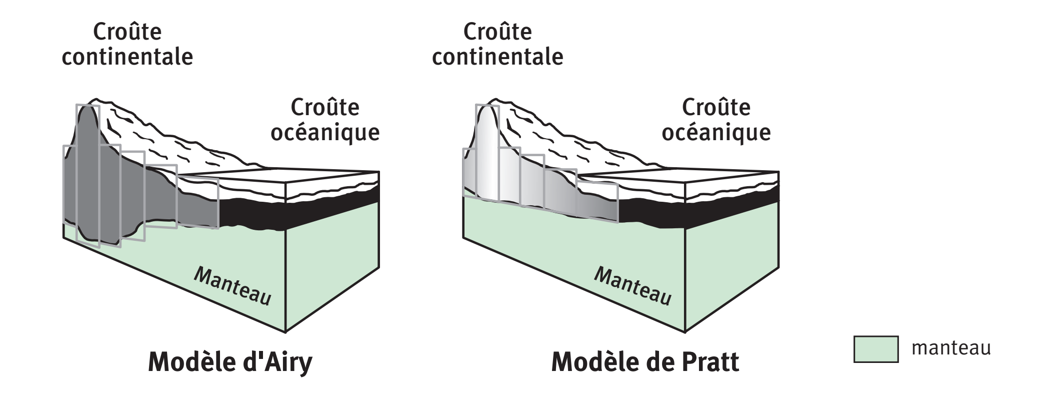
On doit aux Britanniques George Biddell Airy (1801-1892) et John Henry Pratt (1809-1871) les premières tentatives d'explication du phénomène observé.

Document 5 ***Présentation des modèles d'Airy et Pratt***



Modèle d'Airy : la compensation du relief topographique est assurée par la présence d'une racine crustale causée par l'épaississement de la croûte.

Modèle de Pratt : la compensation est assurée par une variation latérale de la densité dans la lithosphère.



Un modèle analogique

Afin de comprendre pourquoi la croûte continentale est plus épaisse sous les montagnes, il est possible de réaliser un modèle analogique avec du matériel simple.

Pour cela, il vous faut :

- 1 verre cylindrique de faible diamètre (3 cm),
- 1 morceau de bois de section légèrement inférieure au diamètre du verre (manche à balais, tourillon, branche d'arbre),
- 1 morceau de papier millimétré,
- du ruban adhésif transparent.

– Découper une bande de papier millimétré de 3 cm de large sur la hauteur du verre et la coller à l'extérieur du verre à l'aide du ruban adhésif.

– Remplir le verre de 5 cm d'eau.

– Scier des tronçons de bois de différentes longueurs (de 1 à 4 cm) et les mettre un à un dans le verre.

Questions

1. Que peut-on constater ?
2. À l'aide de ce modèle, trouver la taille de la racine crustale permettant d'avoir une partie émergée de 1 cm.

Un modèle numérique

Le terme « **isostasie** » (du grec *isos*, « égal », et *stasis*, « arrêt ») traduit l'état d'équilibre des roches de la croûte terrestre par rapport au manteau sous-jacent. Cet état d'équilibre est réalisé à une profondeur **dite profondeur ou niveau de compensation** pour laquelle la pression de charge est la même en tout point. À cette profondeur, les pressions exercées, par le matériel constituant la croûte et le matériel situé en dessous, s'équilibrent. Plusieurs modèles permettent d'expliquer cette théorie.

Parmi ces modèles, le modèle d'Airy stipule que, pour qu'il y ait équilibre, les colonnes de la croûte s'enfoncent plus ou moins dans le manteau lithosphérique. Il y a alors équilibre vertical en fonction des masses liées aux hauteurs et aux densités. Sous les montagnes, on trouve ainsi une racine crustale.

Document 6 ***Un modèle numérique***

Télécharger le logiciel Airy en tapant ces deux mots dans un moteur de recherche.

Questions

1. Cliquer sur calcul / construire un nouveau profil topographique équilibré.
2. Sachant que l'Everest culmine à 8 848 m, dessiner le profil de l'Himalaya en cliquant sur les rectangles bleus. Que constate-t-on ?
3. Retourner dans Calcul / simuler une érosion de 100 m diminuant ainsi l'altitude de la croûte continentale. Cliquer sur « Équilibre isostatique ». Qu'observe-t-on ?



Aide

- Afin de mieux visualiser les déplacements de la lithosphère, cliquer sur « représenter les profondeurs ».
- Est-il possible d'obtenir facilement un relief positif de la hauteur de l'Himalaya ?
- Observer si une érosion de 100 m de matériel diminue l'altitude de 100 m.

4 La croûte continentale est d'une épaisseur moyenne de 30 km. Ainsi, une altitude 0 représente une croûte de 30 km d'épaisseur. Avec le logiciel Airy, augmenter l'épaisseur de la croûte afin de trouver le minimum nécessaire d'altitude entraînant la présence d'une racine en profondeur.

À retenir

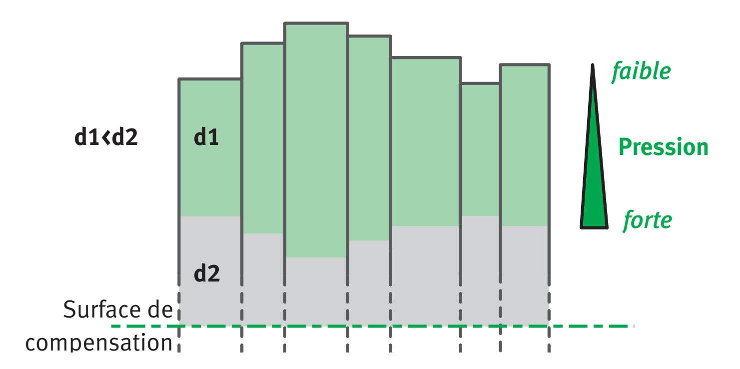
La lithosphère est en équilibre (isostatique) sur l'asthénosphère. Cet équilibre isostatique suit les lois du principe d'Archimède. Les différences d'altitude moyenne entre les continents et les océans s'expliquent par des **différences crustales**. Ainsi, la différence entre le fond des océans et la surface des continents s'explique par une épaisseur et une densité différentes des lithosphères océaniques et continentales.

En effet, la lithosphère océanique plus dense et pourtant moins épaisse s'enfonce plus profondément dans l'asthénosphère, sa surface se retrouve alors à une faible altitude.

La lithosphère continentale, plus épaisse et moins dense s'enfonce moins dans l'asthénosphère. Sa surface se retrouve à une altitude plus élevée que celle de la lithosphère océanique.

Enfin, pour avoir un **relief positif**, il faut qu'il y ait une **racine de croûte continentale importante** permettant de supporter la charge pondérale en surplus due à ce relief.

Document 7 *Représentation schématique du modèle d'Airy*



➥ **On veut comprendre comment la croûte continentale peut être en équilibre sur l'asthénosphère.**

2. La composition de la croûte continentale

Activité 3 — Composition de la croûte continentale et isostasie

La croûte continentale est composée en majorité de granite et de gneiss alors que l'asthénosphère est composée de péridotite.

On cherche à savoir si la densité des roches constituant la croûte continentale et l'asthénosphère permet de valider le modèle d'Airy, c'est-à-dire si c'est bien la différence de densité entre la croûte et l'asthénosphère qui permet qu'à un moment donné les pressions exercées par les matériaux de la croûte soient en équilibre avec les pressions exercées par les matériaux du manteau supérieur sous-jacent.

Il faudrait donc que la péridotite ait une densité supérieure au granite et au gneiss. Nous allons alors mesurer la densité du granite (principale roche magmatique de la croûte continentale) et de la péridotite (principale roche du manteau).

Pour cela, il faudra :

- 1 balance,
- 1 verre gradué,
- 1 bout de ficelle,
- de l'eau,
- de petits échantillons de granite (ou tout autre échantillon de roche vous permettant de comprendre le principe de cette manipulation).

Questions

1. Grâce au matériel disponible, mettre en place un protocole qui permette de mesurer la densité de votre échantillon. Expliquer ce protocole et donner les résultats obtenus.

Rappel

On entend ici par **densité le rapport masse en $g.mL^{-1}$**. Celle-ci n'a pas d'unité car elle correspond à la masse volumique de l'échantillon par rapport à la masse volumique de l'eau qui est de 1 $g.mL^{-1}$.

2. La même manipulation a été réalisée en laboratoire avec de la péridotite. Pour un morceau de péridotite de 33 g, un volume de 10 mL a été déplacé. Calculer la densité de cet échantillon.

Suite à l'étude de la propagation des ondes sismiques, on a établi que la densité de la croûte continentale est plus faible que celle de la croûte océanique, elle-même plus faible que celle du manteau.

3. En utilisant les données fournies ci-dessus, montrer pourquoi les valeurs que vous avez obtenues sont en accord avec ces conclusions.

Aide

La densité d'un basalte à olivine sain est de 3.

Celle d'un granite devrait être aux alentours de 2,6, tout comme le gneiss.

4 Si vos résultats diffèrent beaucoup de cette valeur, donner les raisons qui peuvent, selon vous, expliquer les écarts constatés.

➥ **Comment expliquer ces différences de densité ?**

Document 8 ***Composition chimique des croûtes océanique (C. O.) et continentale (C. C.) ainsi que d'un basalte et d'un granite***

Composition chimique	% massique d'élément chimique			
	C. O.	C. C.	Basalte	Granite
O	43,7	46,9	49	49,4
Si	22	32,5	26,8	32,4
Al	8,5	7,7	5	7,4
Fe	6,5	2,9	1	2
Mg	7,6	0,7	9	0,6
Ca	7,1	1,9	7	1
Na	1,6	2,9	2	2,6
K	0,33	3,2	0,2	4,6
Ti	1,4	-	-	-
C	0,33	-	-	-
Mn	0,15	-	-	-
Autres		1,3	-	-

Document 9 ***Pourcentage des roches constituant la croûte continentale***

Roche	Importance en volume en %
Sédimentaire	5
Magmatique	40
Métamorphique	55

Document 10 ***Composition chimique de différents minéraux***

Minéral	Composition chimique
Feldspath	Na ou K ou CA $AlSi_3O_8$
Pyroxène	Na ou Fe_2 ou Ca ou $Mg_2Si_2O_6$
Olivine	$(Mg, Fe_2) SiO_4$
Quartz	SiO_2
Micas	$KAl_2Si_3AlO_{10}$-$(FOH)_2$

Document 11 ***Tableau de classification périodique des éléments chimiques***

1 H Hydrogène																	2 He Hélium
3 Li Lithium	4 Be Béryllium											5 B Bore	6 C Carbone	7 N Azote	8 O Oxygène	9 F Fluor	10 Ne Néon
11 Na Sodium	12 Mg Magnésium											13 Al Aluminium	14 Si Silicium	15 P Phosphore	16 S Soufre	17 Cl Chlore	18 Ar Argon
19 K Potassium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titane	23 V Vanadium	24 Cr Chrome	25 Mn Manganèse	26 Fe Fer	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Cuivre	30 Zn Zinc	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsenic	34 Se Sélénium	35 Br Brome	36 Kr Krypton
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirconium	41 Nb Niobium	42 Mo Molybdène	43 Tc Technétium	44 Ru Ruthénium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Argent	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Etain	51 Sb Antimoine	52 Te Tellure	53 I Iode	54 Xe Xénon
55 Cs Césium	56 Ba Baryum	57 à 71	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantale	74 W Tungstène	75 Re Rhénium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platine	79 Au Or	80 Hg Mercure	81 Tl Thallium	82 Pb Plomb	83 Bi Bismuth	84 Po Polonium	85 At Astate	86 Rn Radon
87 Fr Francium	88 Ra Radium	89 à ...															

57 La Lanthane	58 Ce Cérium	59 Pr Praséodyme	60 Nd Néodyme	61 Pm Prométhium	62 Sm Samarium	63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium	71 Lu Lutécium
89 Ac Actinium	90 Th Thorium	91 Pa Protactinium	92 U Uranium	93 Np Neptunium	94 Pu Plutonium	95 Am Américium	96 Cm Curium	97 Bk Berkélium	98 Cf Californium	99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium	101 Md Mendélévium	102 No Nobélium	103 Lw Lawrencium

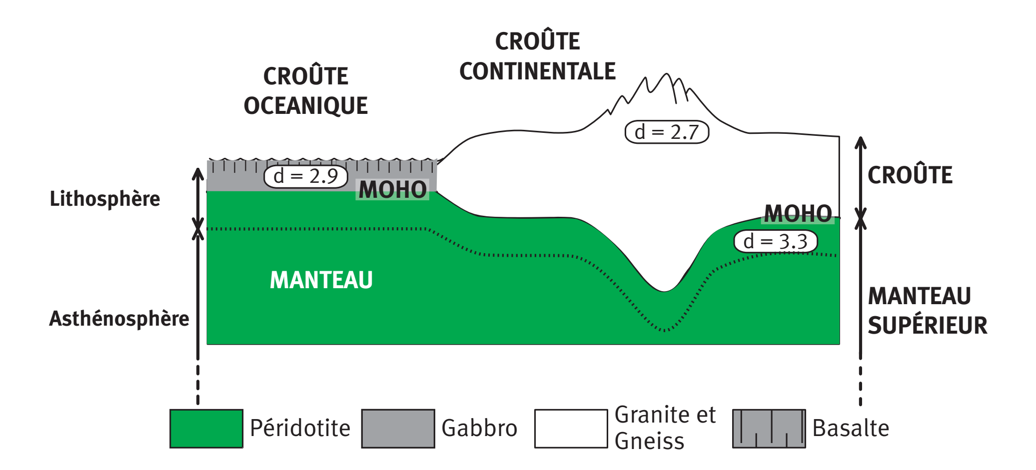
Question ❺ À l'aide des documents 8 à 10, expliquer la différence de densité de la croûte océanique, continentale et du manteau inférieur.

Aide

1. À l'aide des documents 8 et 9, nommer les minéraux qui renferment les éléments dits « majeurs » de la croûte océanique.
2. Comparer la composition de la croûte et du basalte (même composition que le gabbro).
3. Expliquer vos observations.
4. Faire de même pour la croûte continentale. Puis la comparer au granite (même composition que le gneiss).
5. Après avoir listé les différents éléments majeurs de chaque unité, identifier dans le tableau périodique les éléments les plus légers et les plus lourds.

À retenir

La croûte continentale, principalement formée de roches voisines du granite, **est d'une épaisseur plus grande et d'une densité plus faible que la croûte océanique**.



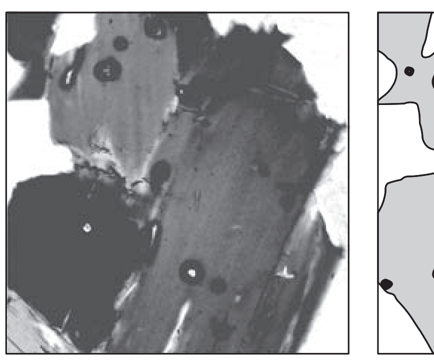
➥ **On vient de voir que les croûtes continentale et océanique ont des différences dans leur composition et leur épaisseur. Quelle est l'origine de cette croûte continentale ?**

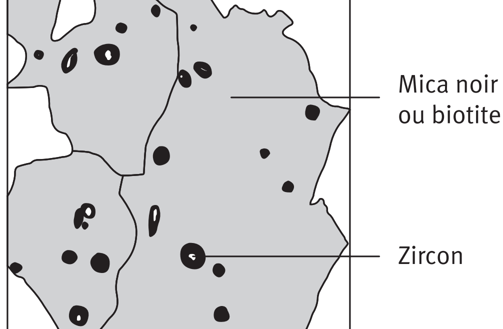
3. L'âge de la croûte continentale

Activité 4 **Datation de l'âge de la croûte continentale : principe de la radiochronologie**

Document 12 ***La radioactivité naturelle dans les roches***

Lame mince de granite observée en lumière naturelle





On peut observer, dans la biotite apparaissant très claire, un zircon entouré d'une auréole d'altération plus sombre. L'auréole est la conséquence de la radioactivité du zircon, minéral solide dans des conditions de fortes pression et température.

Pour obtenir l'âge d'une roche, d'un minéral, on utilise une méthode, mise au point en 1948 par Aldrich et Nier, s'appuyant sur la décroissance radioactive d'isotopes de certains éléments chimiques qui peuvent y avoir été enfermés. Cela constitue un chronomètre naturel.

Point science

Le rubidium (Rb) et le strontium (Sr) sont deux éléments chimiques existant le plus souvent à l'état de traces dans les roches. Ils se substituent en partie au potassium pour le rubidium et au calcium pour le strontium. Ainsi, les minéraux riches en potassium sont généralement riches en rubidium et ceux riches en calcium présentent souvent des teneurs élevées en strontium.

Ces deux éléments existent dans la nature sous la forme de plusieurs isotopes : deux pour le rubidium, ^{85}Rb et ^{87}Rb, et quatre pour le strontium, ^{84}Sr, ^{86}Sr, ^{87}Sr et ^{88}Sr. **Seul l'un d'entre eux, le ^{87}Rb, est radioactif.** Il se désintègre en ^{87}Sr qui, lui, est un isotope stable du strontium comme le sont, d'ailleurs, les trois autres. Cette désintégration, un pour un, aboutit à l'émission d'un électron ; c'est donc une radioactivité dite « bêta moins » que l'on peut schématiser par :

$$^{A}_{Z}M \rightarrow ^{A}_{Z+1}M'^{+} + e^{-} + \bar{\nu}_e + Q$$

$$^{87}_{37}Rb \rightarrow ^{87}_{38}Sr^{+} + e^{-} + \bar{\nu}_e + Q$$

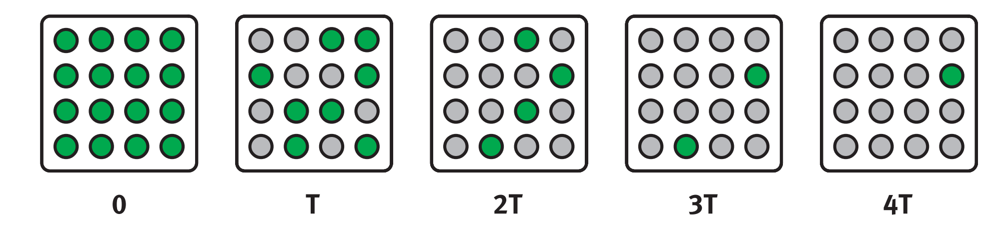
Les mesures sont faites au spectrographe de masse pour différencier les isotopes.

Document 13 ***Le principe de la datation absolue***

Soit un isotope père P, radioactif, qui se désintègre en un isotope fils F, radiogénique, noté F*.

$$P \rightarrow F^*$$

À t = 0, on compte 16 isotopes noirs de P (c'est P_0) :



Il faut noter que l'on est parti d'un système à 16 isotopes et qu'il y en a toujours 16 dans le système : on dit que *le système est clos*.

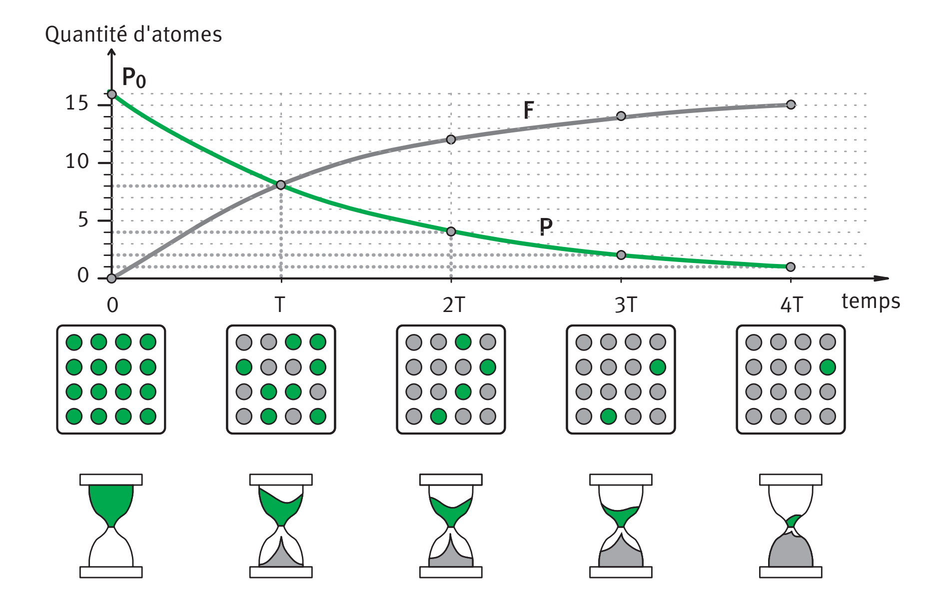
La variation du nombre d'isotopes P est une fonction du temps obéissant à la loi : $dP/dt = -\lambda P$

On admet que $P = P_0 e^{-\lambda t}$ (P_0 = isotopes au temps t=0)

Ainsi, le nombre d'isotopes P diminue en fonction du temps tandis que le nombre d'isotopes fils produits augmente. Pour tout isotope radioactif quel qu'il soit, on définit un temps T, appelé *période* ou *demi-vie*, au bout duquel il ne reste plus que la moitié des isotopes P présents au départ, autrement dit :

$$P_0/2 = P_0 e^{-\lambda t} \text{ ce qui équivaut à } \lambda = Ln\, 2 / T$$

On peut alors dessiner les courbes ci-dessous, avec le nombre d'isotopes P qui diminue en fonction du temps (points verts) tandis que le nombre d'isotopes fils produits augmente (points gris) :



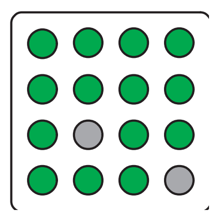
On peut ainsi définir λ appelée constante de désintégration de l'isotope radioactif P ; elle équivaut à l'inverse d'un temps et s'exprime en an^{-1}.

Pour dater un minéral ou une roche, on peut donc mesurer la quantité d'isotopes F présents dans le système. Dans ce cas, il faut tenir compte du fait que des isotopes F peuvent exister au départ (F_0) dans la roche indépendamment de la radioactivité de P.

On a alors $F = F_0 + F^*$

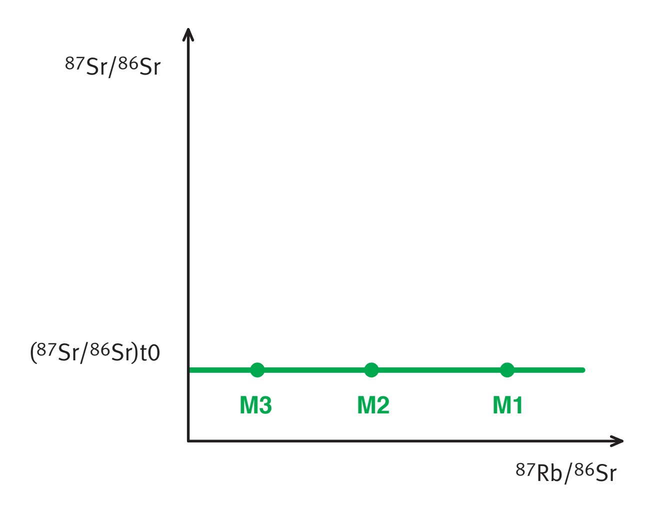
Si F* est produit par la désintégration de P, on a $F^* = P_0 - P$ comme $P = P_0\, e^{-\lambda t}$ ou $P_0 = P\, e^{\lambda t}$ alors $F^* = P\,(e^{\lambda t} - 1)$.

On trouve alors : $F = F_0 + P_0\,(1 - e^{-\lambda t})$



Nous venons de voir le cas simple, lorsque, au moment de la fermeture du système, il n'y a que des éléments pères. Parfois, au moment de la fermeture du système, on trouve aussi des éléments fils : dans ce cas là, il ne faut pas les prendre en compte.

Document 14 ***Illustration des rapports isotopiques dans trois minéraux différents (M1, M2, M3) d'un granite lors de leur cristallisation***



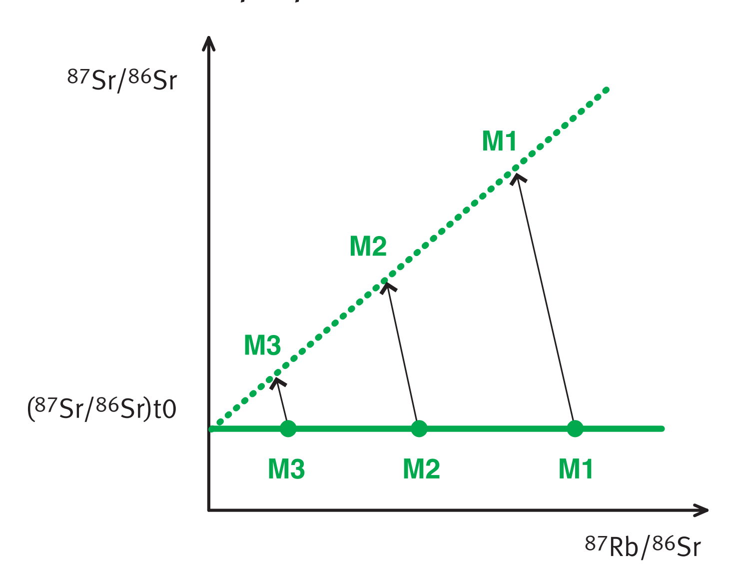
Après la cristallisation qui correspond au moment t0, le **^{87}Rb qui est radioactif se désintègre en donnant du ^{87}Sr (T = 48,8.10^9 ans et λ = 1,42.10^{-11}.an^{-2}).**

Les quantités de ^{87}Rb et de ^{87}Sr se modifient donc au cours du temps dans chacun des minéraux : la **quantité de ^{87}Rb diminue alors que celle de ^{87}Sr augmente.** La quantité de ^{87}Sr à un instant t est égale à la quantité initialement emprisonnée dans le minéral à laquelle s'ajoute la quantité issue de la désintégration du ^{87}Rb.

La quantité de ^{86}Sr, quant à elle, ne change pas au cours du temps.

Ces modifications font que dans chacun des minéraux le rapport ^{87}Rb / ^{86}Sr diminue alors que le rapport ^{87}Sr / ^{86}Sr augmente.

Document 15 *Illustration de l'évolution des rapports isotopiques dans les trois minéraux au cours du temps après la cristallisation*



Sur le graphe, les trois points « se déplacent » mais restent alignés car la quantité d'atomes radioactifs désintégrés pour une durée donnée dépend de sa quantité initiale ($Pt = P0.\ e^{-\lambda t}$). La droite obtenue est appelée **droite isochrone** (*iso* = « même », *chrone* = « âge »).

Cette droite est la représentation graphique d'une fonction qui peut s'exprimer sous la forme y = a.x + b où a est le coefficient directeur de la droite.

La valeur de a, qui est la pente de la droite, peut être déterminée graphiquement. $a = \dfrac{y_2 - y_1}{x_2 - x_2}$ Elle dépend du temps écoulé depuis que ^{87}Rb a commencé à se désintégrer (depuis t0).

Par le calcul, on montre que $a = e^{\lambda t} - 1$, ce qui permet de déduire que **$t = \ln(a+1)/\lambda$ soit $t \approx a/\lambda$.**

Concrètement, lorsque l'on veut connaître l'âge d'un granite (ou d'une autre roche magmatique) par la méthode Rb-Sr, il faut donc mesurer grâce à un spectromètre de masse les quantités de ^{87}Rb, ^{86}Sr et ^{87}Sr dans plusieurs minéraux de la roche puis calculer les rapports $^{87}Rb / ^{86}Sr$ et $^{87}Sr / ^{86}Sr$ de chacun des minéraux afin de tracer le graphe $^{87}Sr / ^{86}Sr$ en fonction de $^{87}Rb / ^{86}Sr$. Si les mesures sont suffisamment précises, on obtient une droite (appelée **droite isochrone**) à partir de laquelle **il est possible de déterminer t : celui-ci est d'autant plus important (et donc la roche plus âgée) que la pente de la droite est élevée.**

À vous de jouer

La valeur T est la période (ou demi-vie) de l'isotope P, c'est-à-dire le temps nécessaire à la désintégration de 50 % de P (T s'exprime en années et λ s'exprime en an^{-1}. Il correspond au nombre de grammes de P désintégré en un an pour 1 g initial de P.)

Questions

1. Construire le graphe représentant la variation de quantité de P, en % de P0, au cours du temps, en utilisant comme valeurs de T : 0,5T puis T, 2T, 3T.

2. Si l'on connaît une valeur du rapport P/P0, que peut-on déterminer graphiquement ?
3. Que peut-on conclure du fait que cette courbe est construite sans même connaître T, P0, λ et P ?

Activité 5 Datation de l'âge de la croûte continentale – Application

Document 16 *Utilisation du logiciel Radiochronologie*

Télécharger le logiciel Radiochronologie en utilisant les mots « logiciel radiochr » dans un moteur de recherche.

> ***Avec le logiciel Radiochr***
>
> Choisir le menu *Loi de décroissance – 14 C*.
> Déplacer le curseur situé sous le graphique pour faire tracer l'évolution de la quantité de ^{14}C au cours du temps.

Questions

1. Au bout de combien de temps reste-t-il la moitié de la quantité initiale ? Le quart ?
2. Qu'est-ce que la demi-vie ? Comparer les demi-vies de ^{14}C, ^{40}K et ^{87}Rb (éventuellement aussi ^{238}U et ^{235}U) et donner des domaines d'application pour ces différents isotopes radioactifs.

> ***Avec le logiciel Radiochr***
>
> Choisir le menu *Datations – méthode Rb – Sr*.
> Le logiciel présente l'évolution théorique de 3 échantillons au cours du temps. Les points sont tracés en fonction des lois de décroissance.

Question

3. Que représentent les axes ? Repérer l'élément père, l'élément fils et l'isotope de référence sur les grandeurs du système de coordonnées choisi.

> Faire dérouler le temps.
> Observer l'évolution des quantités d'isotopes dans les échantillons et la disposition des points qui les représentent dans le système de coordonnées choisi.

Questions

4. Quels sont les échantillons dont la teneur en ^{87}Sr augmente le plus vite ? Pourquoi ?
5. Quelle est la disposition des points représentant les divers échantillons à un instant t quelconque ? Pourquoi parle-t-on de droite isochrone ?
6. Que se passe-t-il s'il n'y a pas de Rb au départ ?

La formule donnant le temps t (en années) en fonction de la pente A de la droite isochrone est : $t = \dfrac{\ln(A+1)}{1{,}42.10^{-11}}$

❼ Quel est l'âge d'une roche dont la droite isochrone a une pente de 0,0143 ?

Échantillon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$^{87}Rb/^{86}Srr$	1,54	5,60	5,70	12,2	3,38	4,52	4,81	0,209	2,47	6,18	11,14
$^{87}Sr/^{86}Sr$	0,71290 ± 9.10^{-5}	0,73247 ± 6.10^{-5}	0,73247 ± 6.10^{-5}	0,76367 ± 11.10^{-5}	0,72289 ± 9.10^{-5}	0,72666 ± 7.10^{-5}	0,72782 ± 7.10^{-5}	0,70664 ± 9.10^{-5}	0,71671 ± 7.10^{-5}	0,73408 ± 8.10^{-5}	0,71099 ± 7.10^{-5}

Avec le logiciel Radiochr

Choisir le menu *Datations – Tableau Rb – Sr*.
Entrer la valeur du rapport $^{87}Rb/^{86}Sr$ puis celle du rapport $^{87}Sr/^{86}Sr$ et valider pour faire afficher le point et passer à la ligne suivante. Etc.
Cliquer sur le bouton Ajuster la pente aux valeurs à la fin pour obtenir l'affichage de la droite (droite de régression linéaire) et le temps correspondant.
Si un point n'est pas aligné avec les autres, supprimer la ligne correspondante du tableau pour le supprimer du graphique. Cliquer à nouveau sur le bouton Ajuster la pente aux valeurs pour être sûr que le nouvel ensemble de valeurs est bien pris en compte pour le calcul du temps.

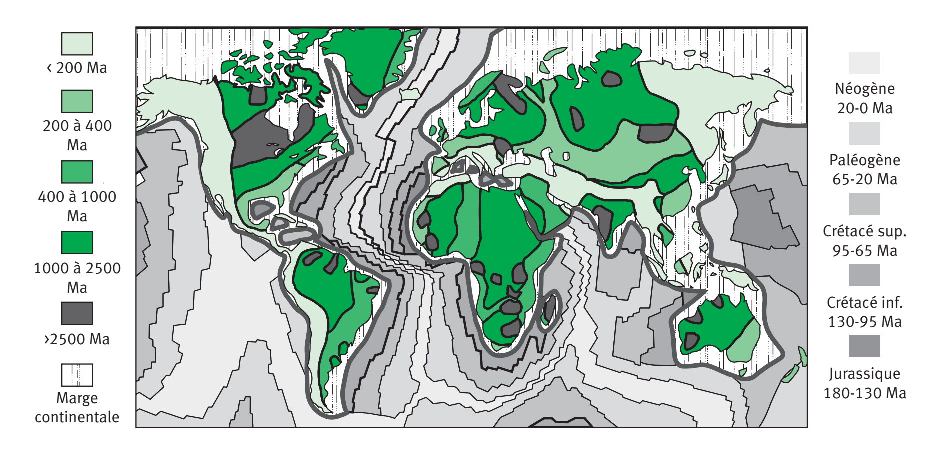
Questions

❽ Les conditions nécessaires à la détermination de l'âge sont-elles réunies ?

❾ Quel est l'âge des roches donné par la méthode. À quel événement correspond-il ?

Ces méthodes de datation ont permis de dater les roches constituant la croûte océanique et la croûte continentale.

Document 17 ***Âge des croûtes océanique et continentale***



Question

❿ Comparer l'âge des croûtes océanique et continentale ainsi que la répartition des roches.

À retenir

La datation des roches par radiochronologie a permis de voir que :

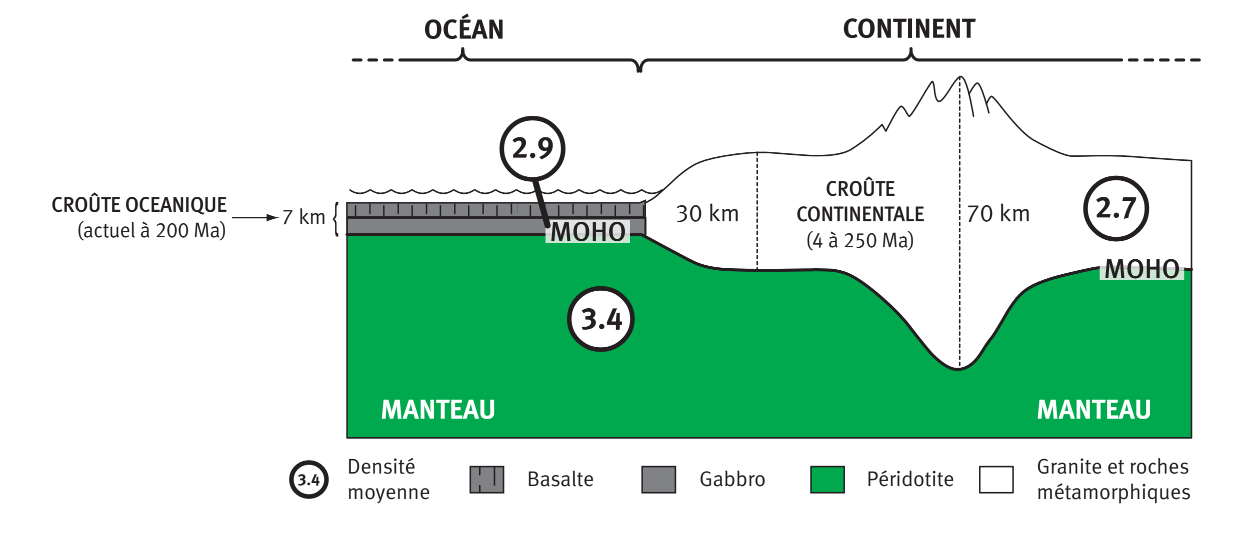
Les plus vieilles roches continentales connues datent de 3,8Ga. On parle de **bouclier continental**. Ces boucliers se situent au Groenland, en Australie et en Amérique du Nord. Ainsi, **la formation de la croûte continentale est estimée à 4Ga.** La croûte continentale est en majorité beaucoup plus âgée que ka croûte océanique. En effet, **l'âge de la croûte océanique n'excède pas 200 Ma.**

Activité 6 Comparer les croûtes océanique et continentale

Réaliser un tableau comparant les croûtes océanique et continentale en prenant en compte les critères suivants : **répartition à la surface de la planète, épaisseur, organisation, roches et minéraux, éléments chimiques**.

Bilan du chapitre 2

Schéma simplifié des croûtes océanique et continentale



La composition de la croûte terrestre

Les lithosphères océanique et continentale diffèrent uniquement par la composition de leur croûte.

En effet, la **croûte continentale, épaisse de 30 km** en moyenne, est de composition très hétérogène. Celle-ci se compose à 5 % d'une couverture sédimentaire plus ou moins épaisse reposant sur un socle **granitoïde**. Il est constitué de granites (roches formées en profondeur : plutonique) et de gneiss (roches métamorphiques). Les principaux minéraux de ces roches granitoïdes sont le **quartz, le mica et le feldspath.**

La densité moyenne de la croûte continentale est de **2,7**.

La croûte océanique, épaisse de 7 km en moyenne, est composée de couches successives. La première couche rencontrée est là aussi une fine couverture sédimentaire. On trouve ensuite des **basaltes.** Les plus superficiels sont des basaltes en coussins de 0,5 km d'épaisseur. Sous les basaltes en coussins se trouvent des basaltes en filons (complexe filonien) de 1,5 km d'épaisseur. Ces formations sont des roches magmatiques résultant d'un volcanisme de type effusif.

Sous ces basaltes, on trouve une couche de **gabbro** épaisse de 5 km. Ces gabbros sont eux des roches magmatiques plutoniques.

Les gabbros et les basaltes sont de composition chimique identiques et ne diffèrent donc que par leur structure qui s'explique par des conditions de refroidissement différente (plus ou moins rapide).

Les minéraux composant les basaltes et les gabbros sont **l'olivine, le pyroxène et le feldspath plagioclase.**

La densité moyenne de la croûte océanique est de **2,9**.

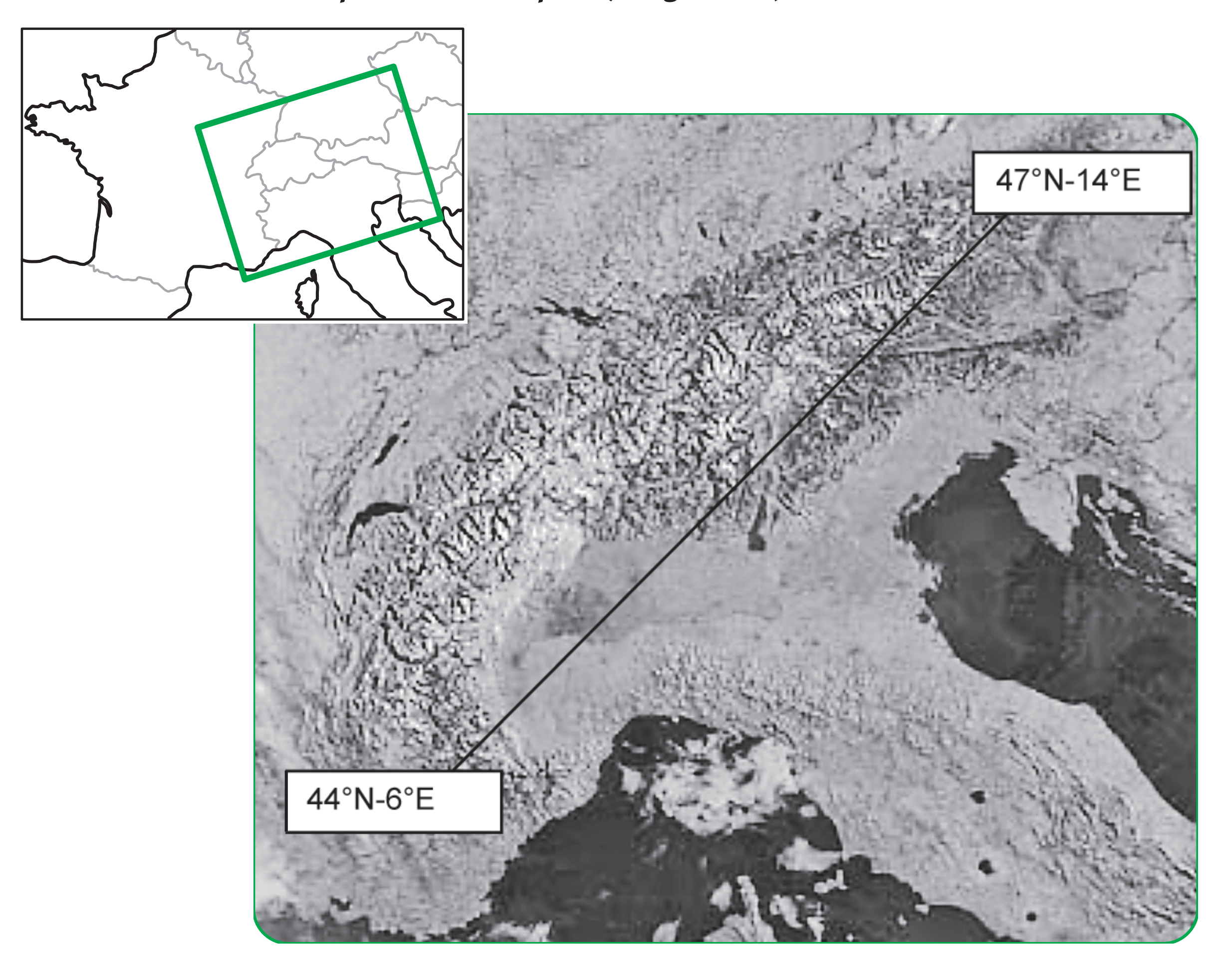


Morphologie d'une chaîne de montagnes



Pour débuter

Document 1 *Les Alpes vues de l'espace (Google Earth)*



Questions

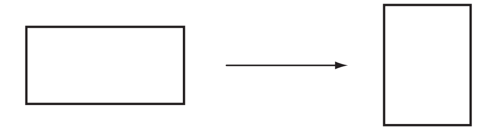
❶ **Ouvrir Google Earth** et zoomer sur les Alpes (la zone observée est limitée par les points : 44°N-6°E/ 47°N-14°E). Repérer les plaines et les massifs montagneux. Tracer les axes d'orientation de ces montagnes.

❷ **Ouvrir le logiciel Tectoglob.** Dans la barre de menu, aller dans « Mode » puis « Tracé d'une coupe ». Définir une coupe judicieuse permettant d'observer un profil topographique des Alpes et relever les altitudes culminantes de cette chaîne de montagnes.

Un mode d'emploi du logiciel Tectoglob est à votre disposition en annexe 2.

Bilan Les Alpes sont une chaîne de montagnes qui s'étend en Europe. Les Alpes culminent à 4 810 m, au sommet du mont Blanc. On recense 82 sommets majeurs de plus de 4 000 m d'altitude (48 en Suisse, 38 en Italie, 24 en France). Les cols de montagne reliant les vallées ou les pays dépassent souvent les 2 000 m d'altitude. Les Alpes forment une barrière de 1 200 km entre la Méditerranée et le Danube.

On peut penser que les montagnes peuvent atteindre de telles altitudes car elles se seraient formées par raccourcissement et épaississement de la croûte continentale.



➥ **À partir de ce modèle, on cherche à trouver les indices mettant en évidence ce raccourcissement et cet épaississement de la croûte continentale au niveau des montagnes.**



B Cours

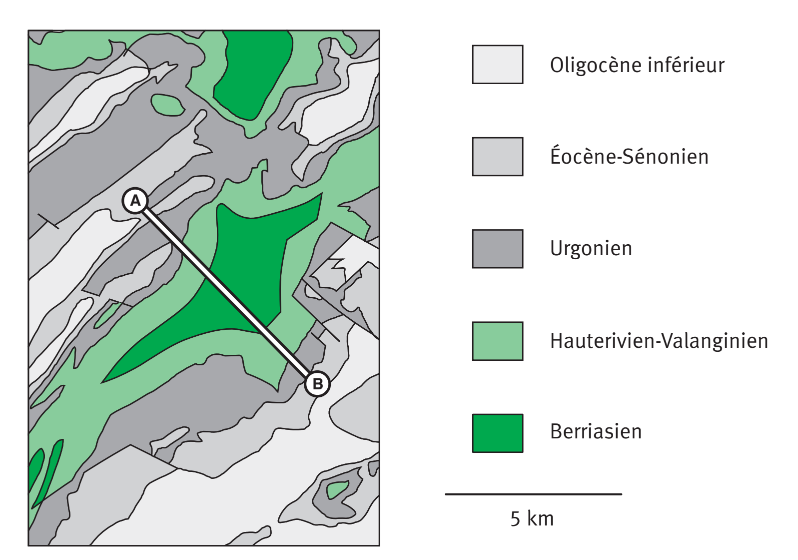
Tout au long de ce chapitre, il vous est proposé de construire un tableau vous permettant de lister les indices à différentes échelles mettant en évidence le raccourcissement et l'épaississement de la croûte continentale.

1. Les indices tectoniques de l'épaississement de la croûte

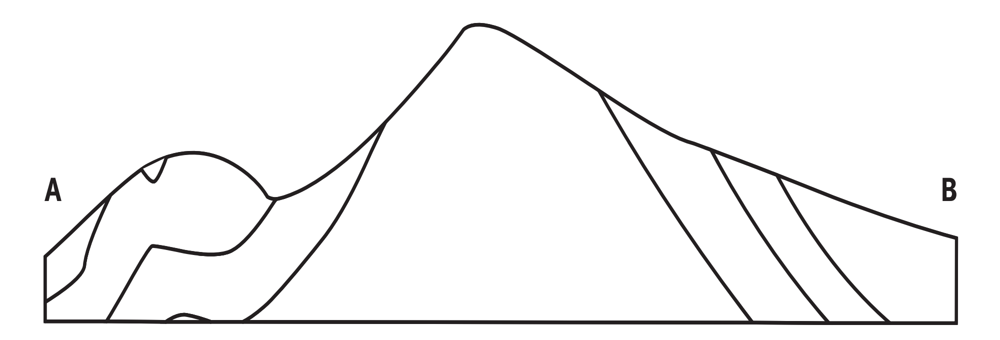
Activité 1 **Les indices sur le terrain : les indices tectoniques**

1. **Aller sur Google Earth** et zoomer sur la région des Alpes. Repérer les axes des plis et relier les cimes.
2. **Faire** un schéma d'interprétation de la zone observée.

Document 2 ***Carte géologique simplifiée du massif d'Entremont***



Document 3 *Profil topographique selon la coupe A.B.*



Point science

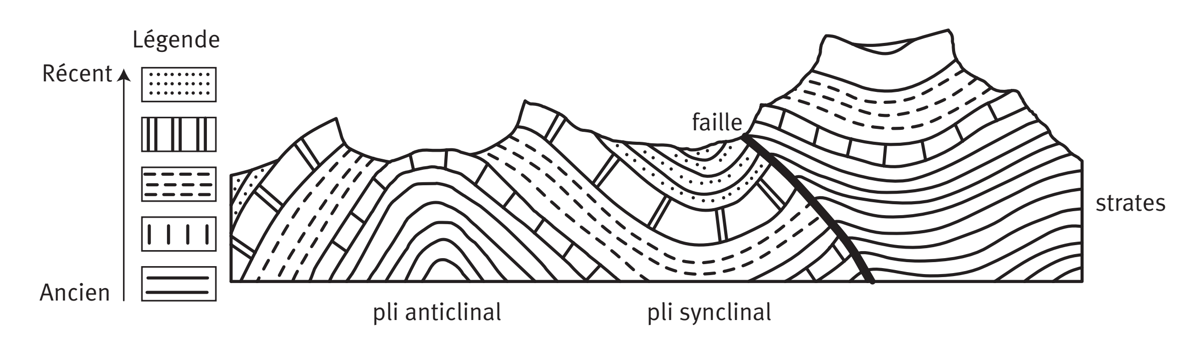
Les cartes géologiques sont un **document d'information indispensable** pour les professionnels, enseignants, étudiants...

Elles permettent d'avoir une idée de la constitution des sous-sols en trois dimensions à partir de données en deux dimensions. On peut donc passer du plan au volume.

Ces cartes constituent ainsi **une aide à la décision** pour l'aménagement du territoire, la prospection des ressources minérales, l'exploration et la protection des eaux souterraines, la lutte contre les pollutions, la prévention des risques naturels et la caractérisation des terroirs.

Afin de vérifier les hypothèses que les montagnes sont issues d'un raccourcissement et d'un épaississement de la croûte continentale, on peut reconstituer le sous-sol de la région d'Entremont à partir de la carte géologique puis voir les indices de ces phénomènes géologiques.

Document 4 *Exemple de coupe géologique*



À vous de jouer

❸ Représenter sur le document 3, les couches géologiques observées sur le document 2.

Identifier à l'aide du document 4 la structure sur géologique.

Aide

1. Repérer l'âge des terrains rencontrés à l'aide de l'échelle géologique (annexe 3).

2. Télécharger le logiciel Géolog en utilisant les mots « logiciel geolog » dans un moteur de recherche.

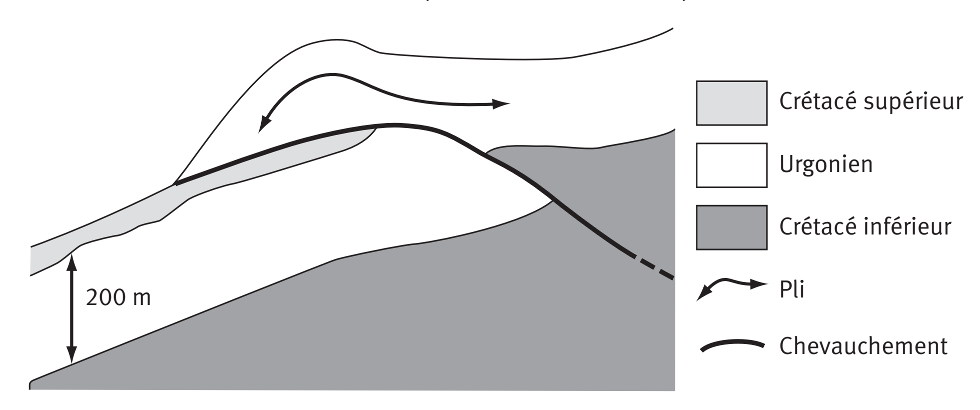
   Simuler une sédimentation suivie d'une compression importante puis d'une érosion. Dessiner les résultats obtenus en vue aérienne. Repérer comment sont organisés les terrains les plus anciens par rapport aux terrains plus récents.

3. Faire des couches successives de pâte à modeler de couleurs différentes. Les plisser puis les couper horizontalement avec un fil de fer. Observer l'agencement des différentes couches.

Document 6 ***Ressources***

Dessin interprétatif de charriage et chevauchement

Rochers de Leschaux, massif des Bornes, Haute-Savoie



Nappes de charriages de Glanus, Alpes suisses

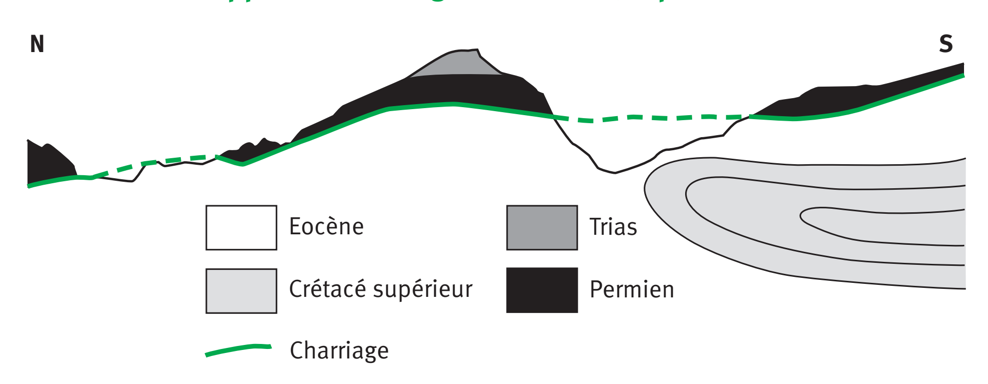
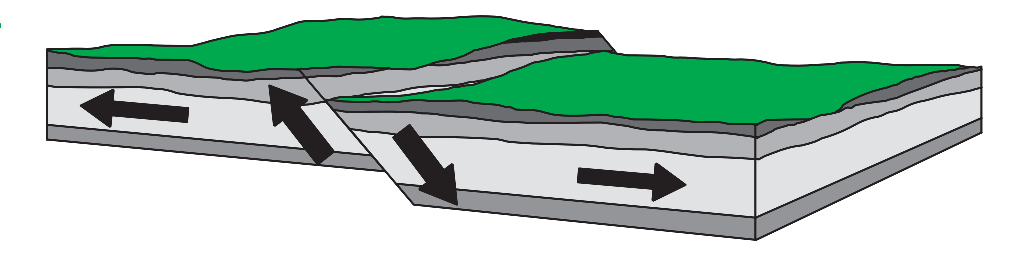
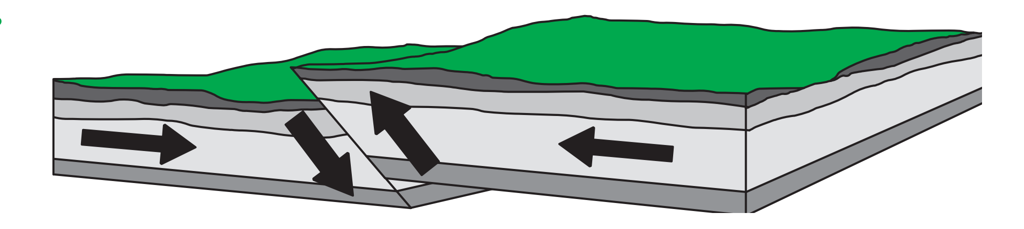


Schéma de faille normale et inverse

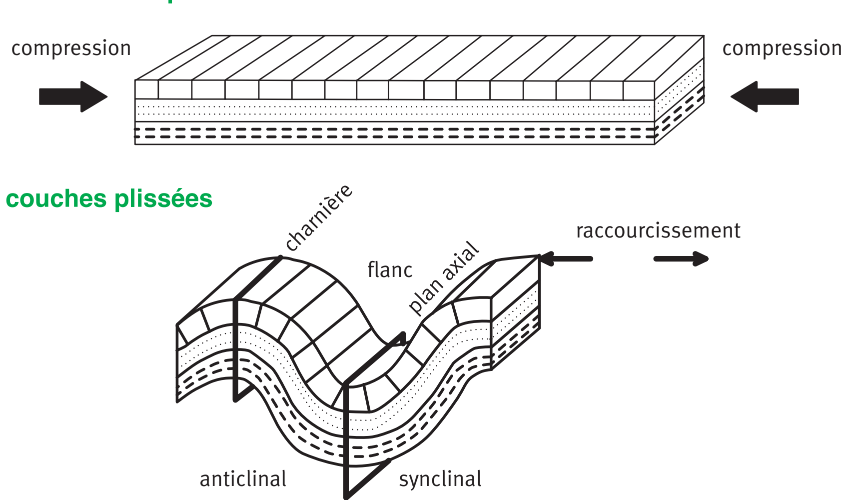
faille normale



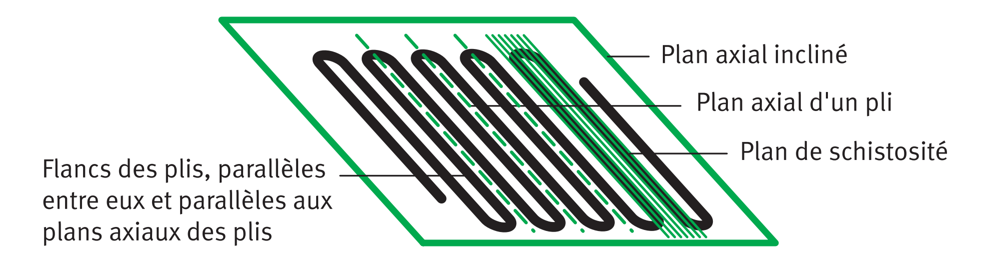
faille inverse



Contexte de formation de pli synclinal et anticlinal



Apparition de la schistosité lors du plissement des terrains. Si en, plus, il y a une recristallisation dans le plan de la schistosité, on parle de foliation.



À retenir

Dans les Alpes actuelles, on observe en surface :

- **des failles inverses** = déformations cassantes se mettant en place lors d'une compression et entraînant un raccourcissement horizontal et un épaississement des terrains affectés par la faille ;
- **des plis** = déformations ductiles des couches géologiques ;
- **des chevauchements** = recouvrement d'un terrain par un autre terrain ;
- **des charriages** = chevauchements de grande ampleur. La nappe de charriage est l'ensemble des terrains déplacés venu recouvrir un terrain initialement éloigné du précédent.

On observe donc que les chaînes de montagnes sont souvent plissées, faillées et présentent des nappes de sédiments qui ont été déplacés. Or les sédiments ont été initialement déposés en couches horizontales. Les anciens sédiments se trouvant toujours sous les plus récents.

Les remaniements de ces sédiments témoignent de **déformations compressives** subies après leur dépôt. Ces déformations compressives conduisent à un **raccourcissement de la zone comprimée**.

De plus, l'accumulation de plis, d`e failles inverses et de superpositions des terrains par charriages et chevauchements se traduit par un **épaississement** de la couverture sédimentaire.

Toutes ces déformations compressives résultent de **forces de collision.**

Tous ces indices tectoniques témoignent d'un raccourcissement et d'un empilement de la croûte permettant la formation des montagnes.

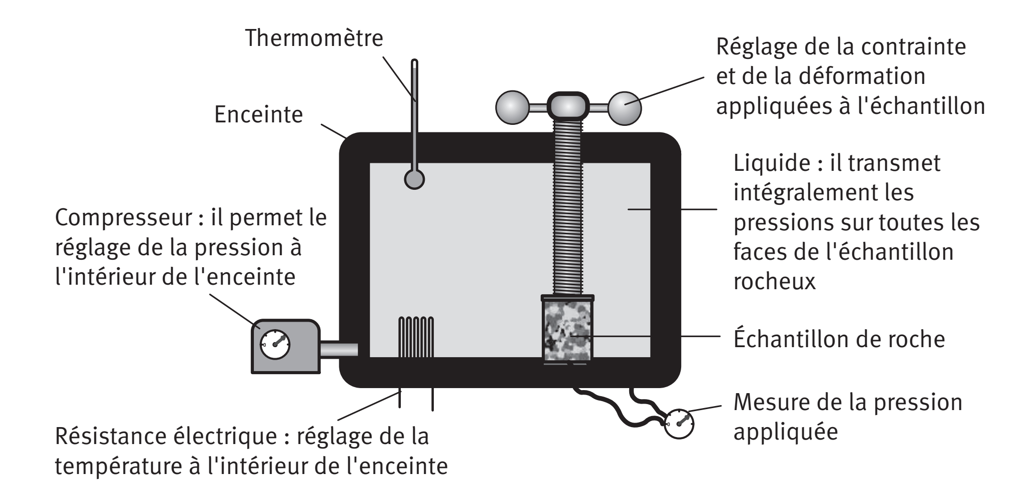
2. Les indices pétrographiques de l'épaississement de la croûte

Activité 2 Les indices pétrographiques

En plus des failles et des plis causés par des forces de collision, on trouve dans les Alpes des roches ayant subi un métamorphisme. Une **roche métamorphique** est une roche issue de la transformation d'une roche initiale (recristallisation et généralement déformation) sous l'effet de la modification de la température et de la pression. Ces transformations se font à l'état solide.

Point science

Au laboratoire, des sortes d'autoclaves permettent de soumettre des associations minérales à des températures et des pressions comparables à celles régnant à différentes profondeurs dans la lithosphère.



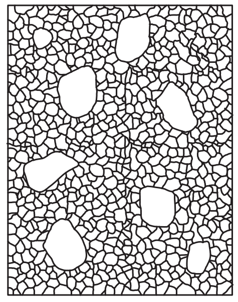
Pour comprendre comment le métamorphisme existe à différents degrés, vous pouvez visualiser une animation en utilisant les mots « métamorphisme alpes animation » dans un moteur de recherche.

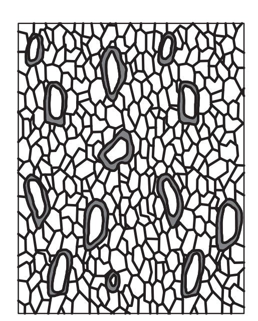
Observations

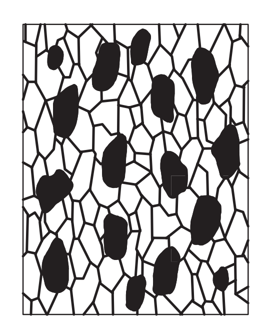
Évolution minéralogique d'une roche

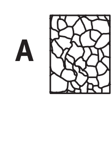
Ces expériences montrent en particulier qu'à partir d'un certain seuil de température ou (et) de pression, deux minéraux voisins devenus instables peuvent réagir entre eux par échange d'ions et donner naissance à de nouveaux minéraux, cette fois-ci stables dans les nouvelles conditions de température et de pression.

La transformation se fait par le biais de la réaction A + B → C.


A P_2-T_2 la roche contient les minéraux A et B


A P_1-T_1 la réaction A+B = C intervient...

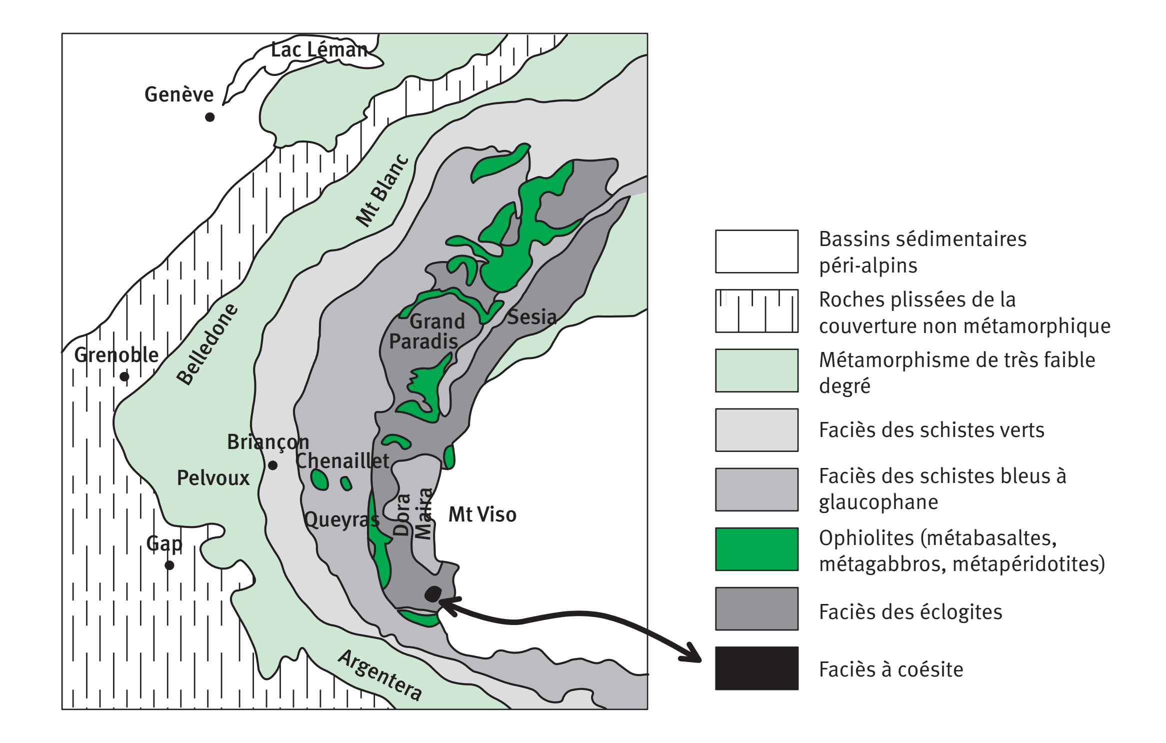

...jusqu'à la disparition de B

A 

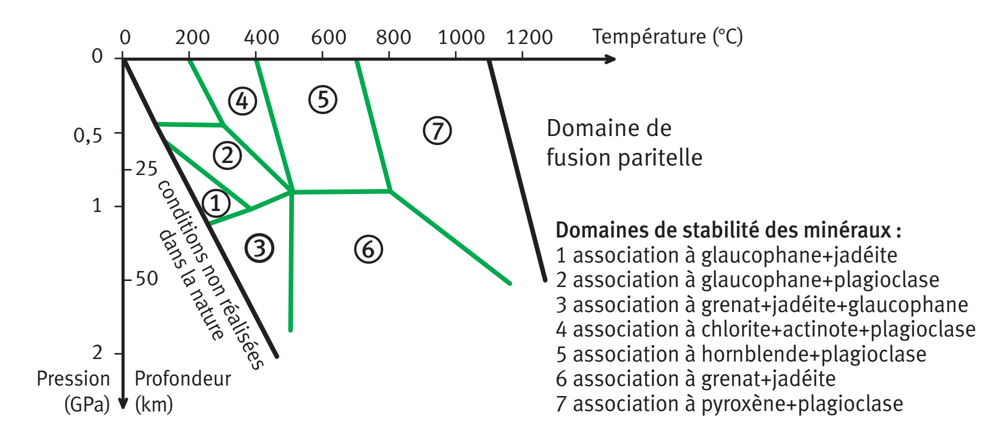
B 

C 

Document 7 *Répartition des différentes roches métamorphiques dans les Alpes*



Document 8 *Diagramme pression-température des faciès métamorphiques*



Questions

❶ **Montrer** en utilisant les documents 7 et 8 qu'on peut relier une association minérale à des conditions de pression et température particulières.

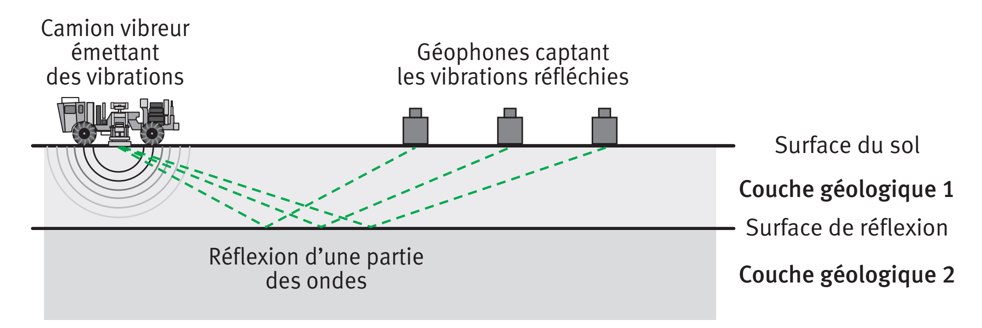
❷ **Formuler des hypothèses** sur l'origine des phénomènes qui pourraient entraîner pour une association minérale donnée, des modifications de pression et température.

3. Des indices en profondeurs

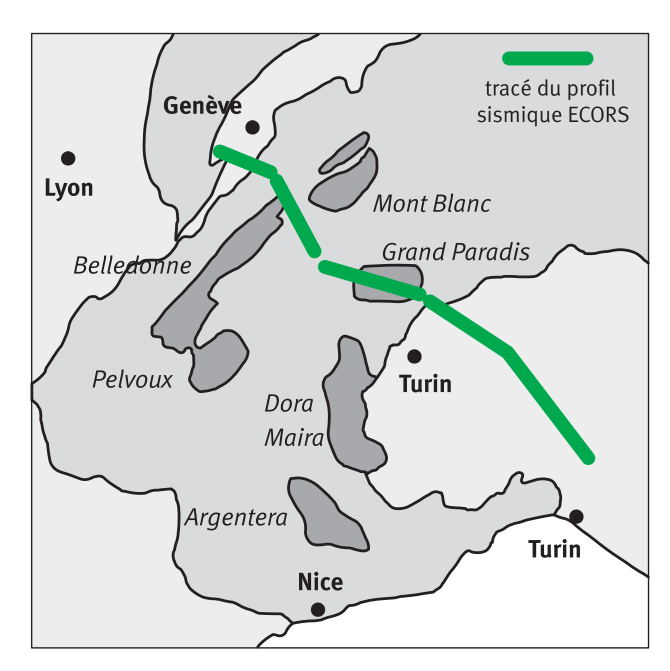
Activité 3 **Étude des déformations profondes de la lithosphère dans les Alpes**

En déclenchant des ondes sismiques artificiellement, les géologues peuvent étudier la structure interne de la lithosphère : les ondes sismiques sont réfléchies par des « réflecteurs » qui correspondent à des changements de roches, de strates... On peut ainsi connaître la structure profonde de la lithosphère et les déformations subies par celle-ci.

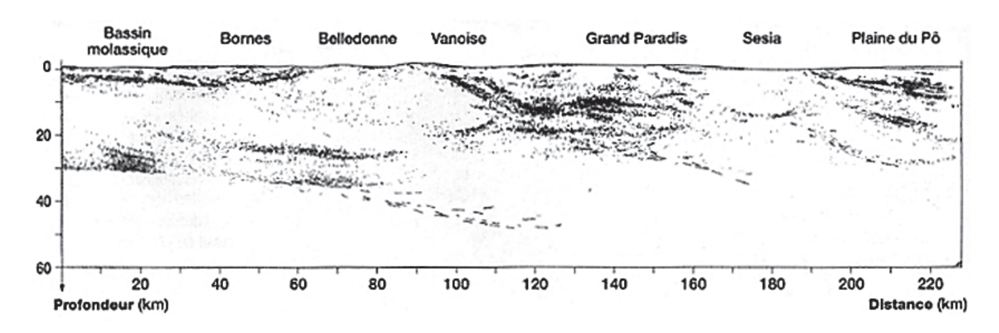
Le programme ECORS (Étude continentale et océanique par réflexion et réfraction sismiques) a été lancé en 1983 par l'Institut français du pétrole, l'Institut national des sciences de l'univers (CNRS) et la société Elf-Aquitaine. L'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer s'est joint au programme pour toutes les opérations marines. Il a pour objectif d'explorer la croûte terrestre dans son ensemble, ses variations d'épaisseur et sa structure interne, afin de reconstituer ses propriétés et son évolution. À cette fin géologique s'ajoute aussi la possibilité de découvrir, dans le fond des bassins connus ou sous les fronts montagneux, des zones sédimentaires cachées qui pourraient recéler des hydrocarbures, à l'exploration géothermique et à l'appréciation du risque sismique.



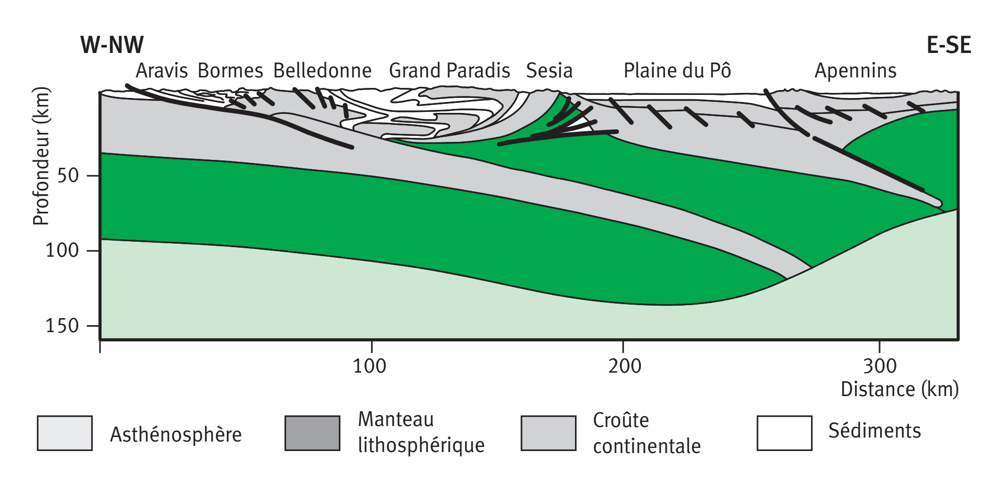
Document 9 ***Localisation du tracé des profils sismiques ECORS***



Document 10 *Profil sismique ECORS*



Document 11 *Interprétation du profil sismique ECORS*



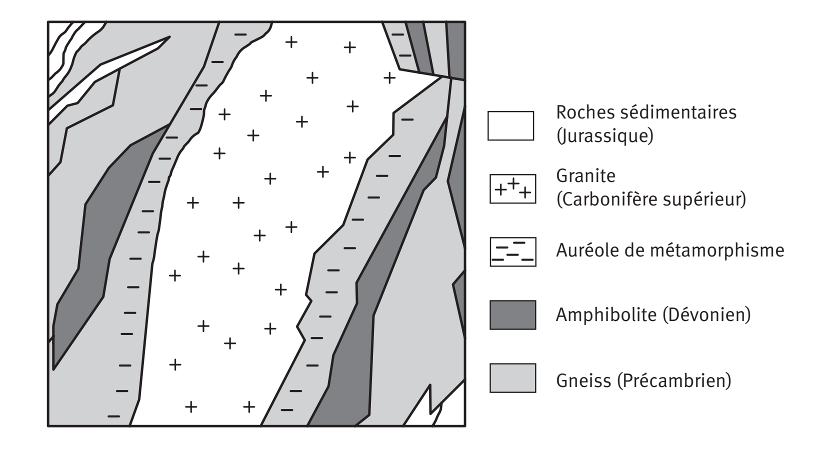
Questions

❶ Colorier le document 10 afin de bien mettre en évidence les différentes parties de la lithosphère.

❷ Sur le document 10, à l'aide du document 11, tracer en noir les limites entre les différentes parties de la coupe et repérer ces différentes parties en les coloriant (asthénosphère, manteau lithosphérique européen, manteau lithosphérique adriatique, croûte continentale européenne, croûte continentale adriatique, racine crustale).

❸ Quelles structures géologiques met en évidence le profil ECORS ? Quel(s) événement(s) tectonique(s) a (ont) donné naissance à ces structures géologiques ?

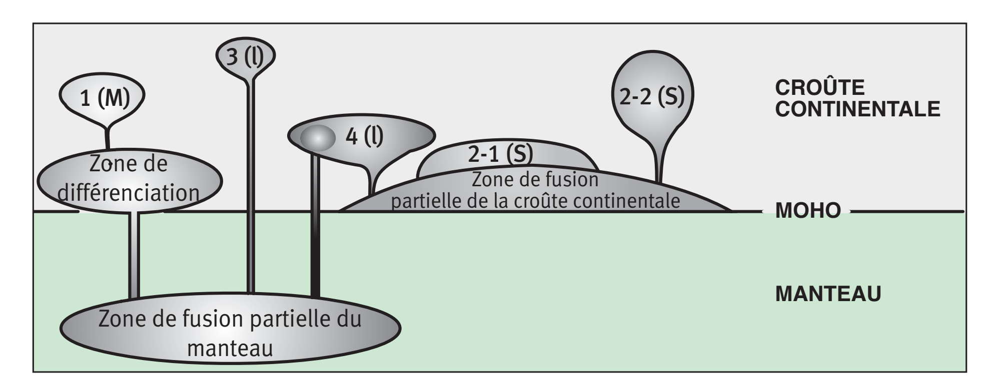
Document 12 *Carte géologique simplifiée des environs des Sept Laux*



Point science

Les granites sont formés de minéraux en grains (cristaux), tous visibles à l'œil nu ; cette apparence leur vaut leur nom dérivé du latin *granum*, « grain ». Ces minéraux sont principalement du quartz, des micas, des feldspaths potassiques et des plagioclases.

Ces roches ont diverses origines :



Ce schéma ne tient compte ni des positions géologiques, ni des contextes géodynamiques entraînant la fusion partielle du manteau et/ou de la croûte continentale.

(1) **Granite intrusif discordant issu de la fusion partielle du manteau** et de la différenciation du magma basique (granite M). On peut trouver de tels granites au niveau des dorsales, des rifts et des zones continentales en extension, des points chauds, des zones de subduction (en particulier des zones de subduction intra-océaniques).

(2-1) **Granite concordant issu de la fusion partielle de la croûte continentale** et d'une migration très limitée du magma (granite S). Cette fusion crustale a souvent lieu dans les zones orogéniques par enfoncement-réchauffement de portions de croûte continentale, ainsi que par l'hydratation ou la décompression (par remontée) de fragments de croûte continentale profonde chaude.

(2-2) **Granite intrusif discordant issu de la fusion partielle de la croûte continentale** et d'une forte migration du magma (granite S).

(3) **Granite intrusif discordant issu de la fusion partielle du manteau** et de la contamination du magma basique par la croûte continentale (granite I). On les trouve quand un magma basique (d'origine mantellique) traverse une grande épaisseur de croûte continentale et/ou y stagne longtemps.

(4) **Granite intrusif discordant issu d'un mélange entre un magma issu de la fusion partielle du manteau** et d'un magma issu de la fusion partielle de la croûte (granite I) en contexte de subduction.

Les granites de type « intrusif » forment en général des massifs en coupoles (les « **plutons** ») car ils ont monté à travers les roches qui les recouvraient, soit en les rongeant par le bas (cas des granites d'*anatexie*), soit en les perçant à l'emporte-pièce (plutons *intrusifs*) : c'est pourquoi, sur les cartes, les contours des massifs de granite recoupent, souvent de façon franche, ceux limitant les bandes des autres roches.

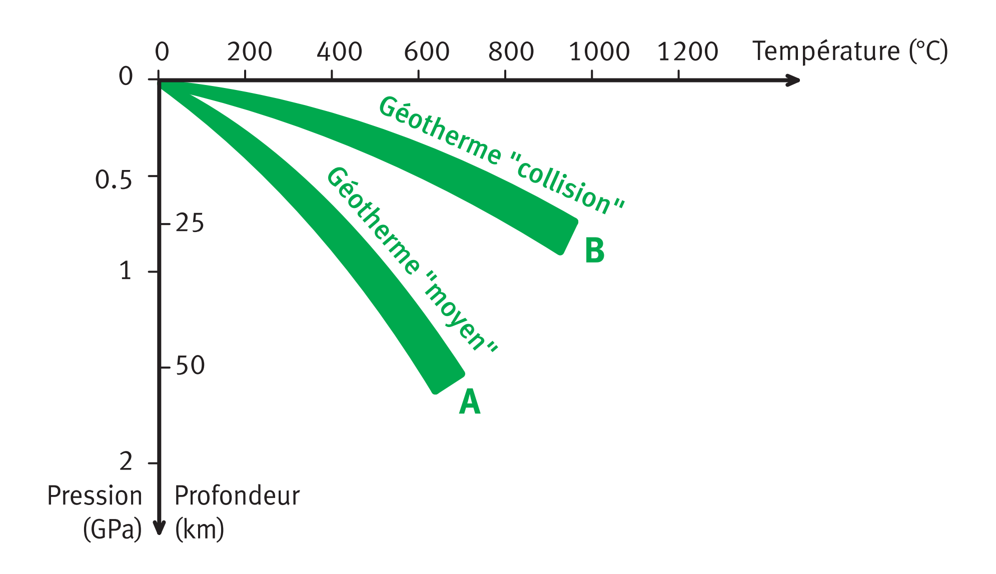
Document 13 ***Géothermes calculés, correspondant à deux contextes géodynamiques différents***

▶ **A : en dehors de toute zone active ;**

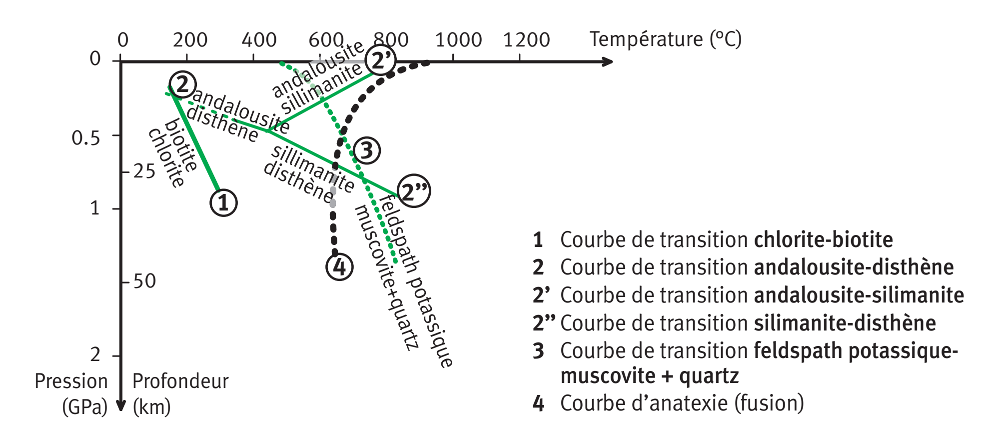
▶ **B : dans une zone de collision de deux plaques** lithosphériques.

Remarque

Un géotherme est une courbe correspondant aux variations de température avec la profondeur au sein du globe terrestre.



Document 14 ***Domaines de stabilité des minéraux***

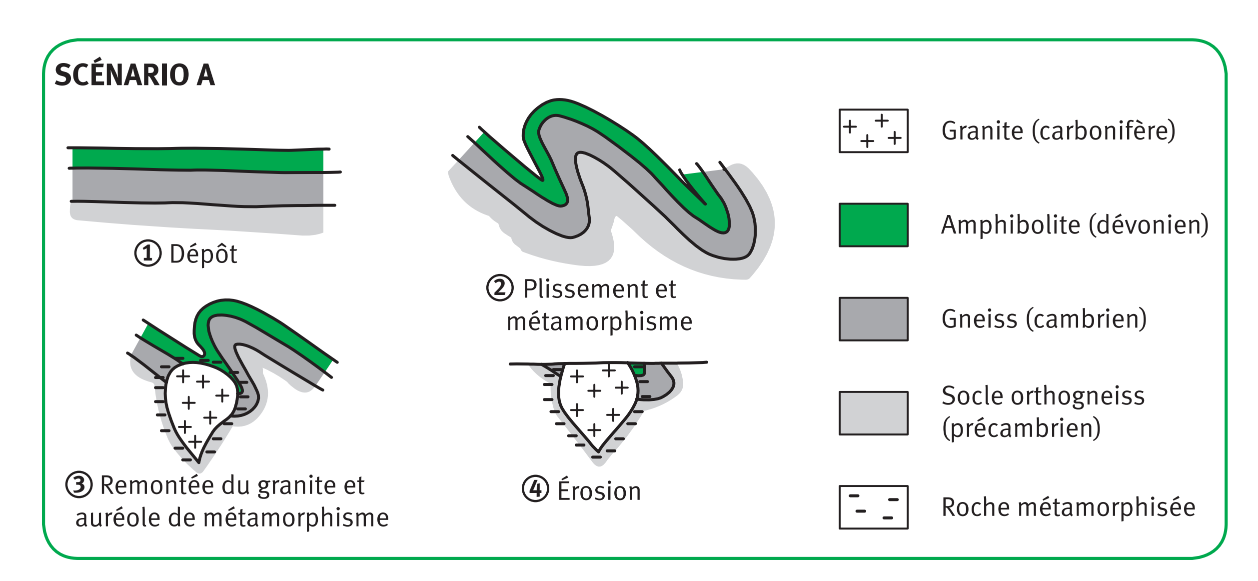


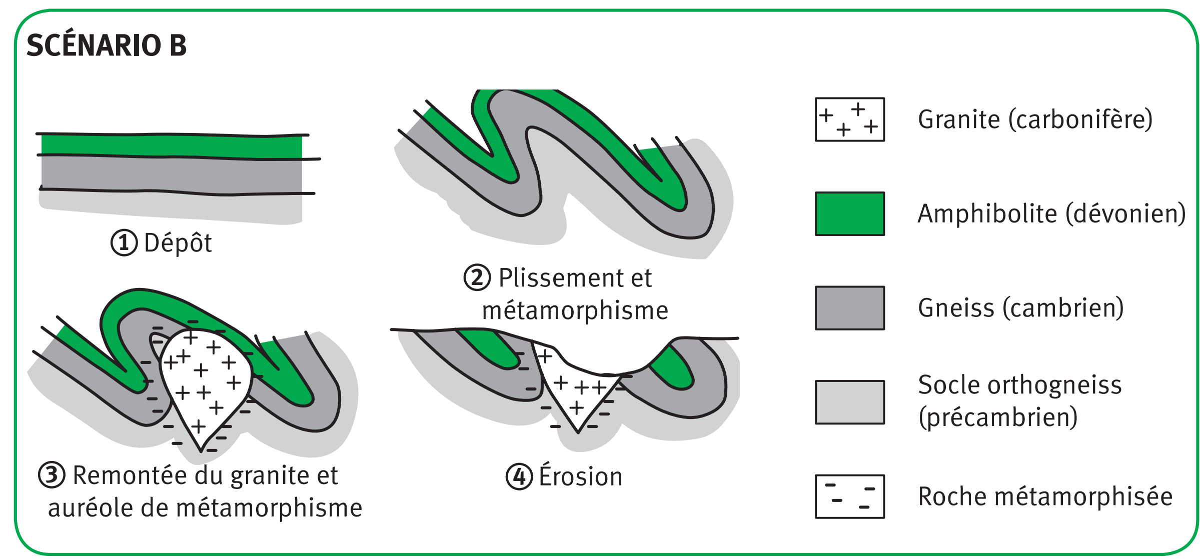
1 Courbe de transition **chlorite-biotite**
2 Courbe de transition **andalousite-disthène**
2' Courbe de transition **andalousite-silimanite**
2'' Courbe de transition **silimanite-disthène**
3 Courbe de transition **feldspath potassique-muscovite + quartz**
4 Courbe d'anatexie (fusion)

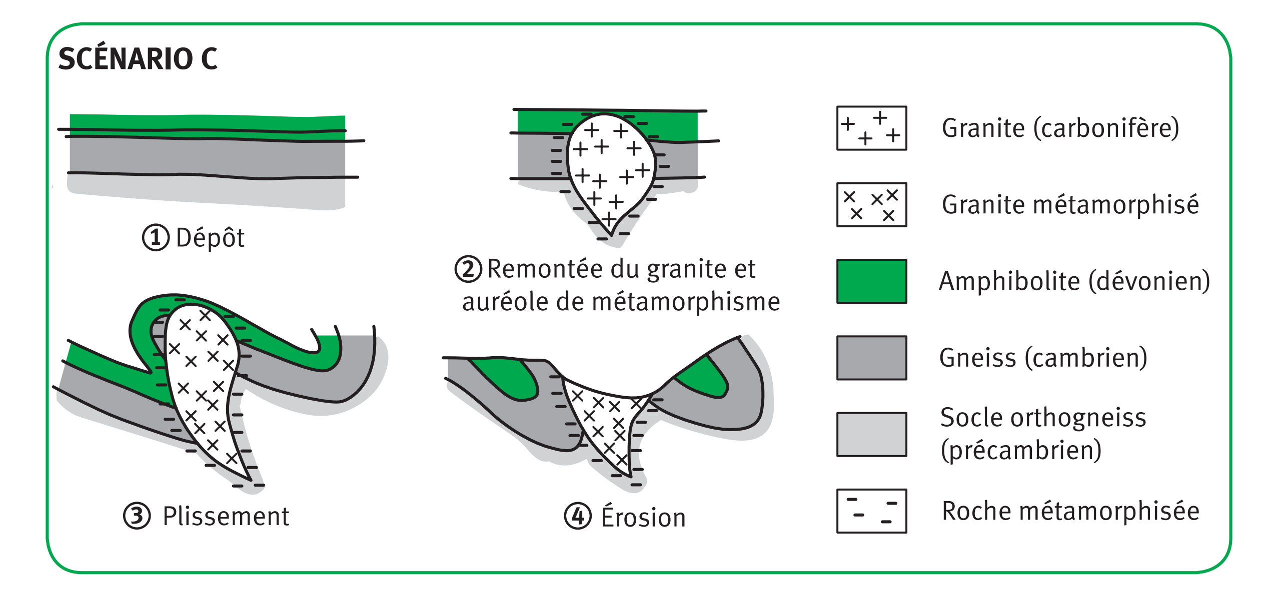
Questions

❹ À l'aide des documents 12 à 14, **expliquer** comment le granite du massif de Belledonne a pu être mis en place.

❺ **Choisir, en vous justifiant,** le scénario A, B ou C qui vous paraît le plus probable pour expliquer les formations géologiques du document 12.







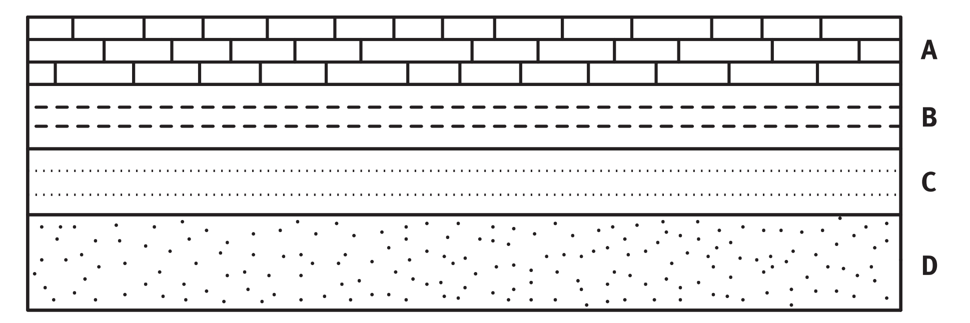
Ressources **Principe de chronologie relative**

L'étude de la succession des couches ou des formations rocheuses d'une région permet de reconstruire les événements géologiques. Par

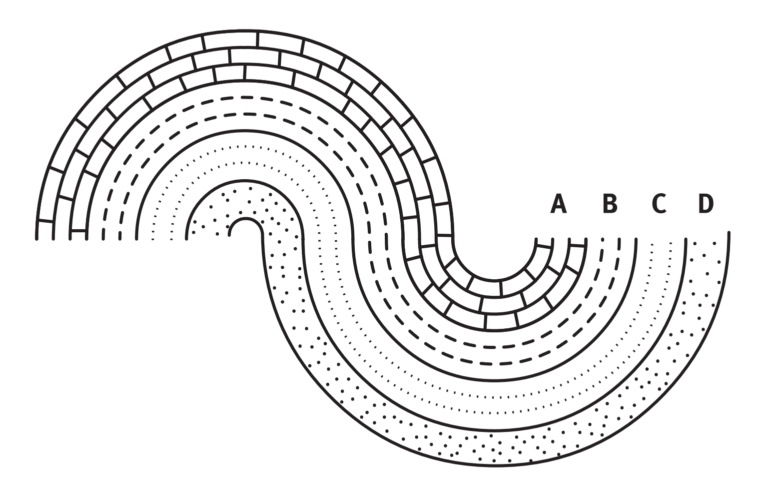
exemple, la nature des roches sédimentaires nous informe sur le milieu de sédimentation et la manière dont cet environnement a évolué dans le temps. En outre, la stratigraphie permet d'établir une chronologie relative des terrains par l'application des principes suivants :

1. **Le principe de continuité** selon lequel une même couche a le même âge sur toute son étendue.

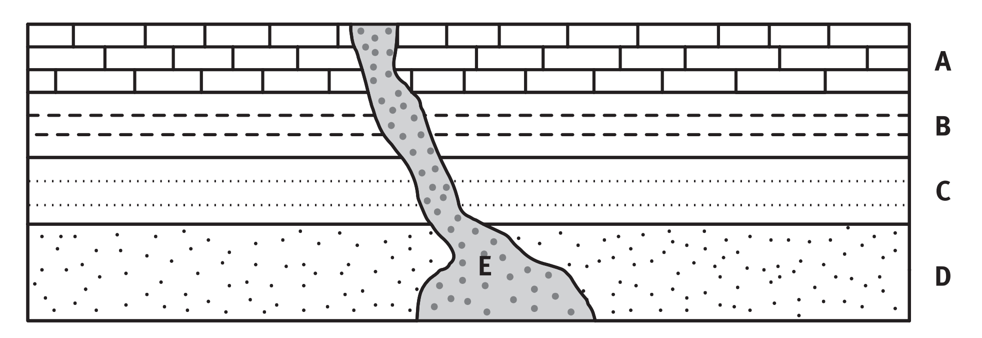
2. **Le principe de superposition** selon lequel, dans les terrains non déformés, les formations les plus basses sont les plus anciennes (par convention **A** ou **1**) et les formations les plus hautes sont les plus jeunes (par convention **D** ou **4**). C'est la façon d'exprimer l'**âge relatif**. L'âge absolu s'exprime en nombre d'années, ce sont les datations (ex. : 400 Ma ou Ordovicien).



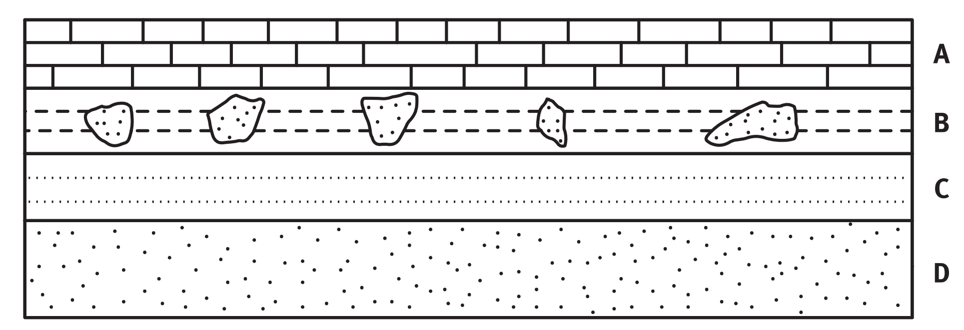
3. **Le principe d'horizontalité** selon lequel les couches sédimentaires sont déposées à l'origine horizontalement. Une séquence sédimentaire qui n'est pas en position horizontale aurait subi des déformations ultérieurement à sont dépôt (plissement en **5**).



4. **Le principe de recoupement** selon lequel les couches sont plus anciennes que les failles ou les roches qui les recoupent (**E** ou **5**).



5. Le principe d'inclusion selon lequel les morceaux de roche inclus dans une autre couche sont plus anciens que leur contenant.



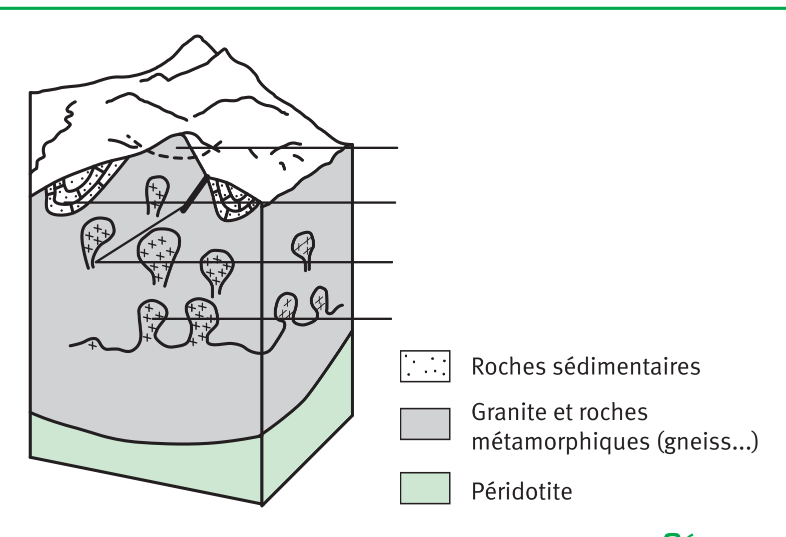
À certains endroits, dans une série sédimentaire, l'information fait défaut: soit que les roches ont disparu suite à l'érosion, soit que la sédimentation s'est interrompue. Ces manques, ces absences d'information correspondent à des intervalles de temps dans la succession des événements géologiques. L'intervalle de temps peut être restreint, et ne toucher qu'une localité (**lacunes**), ou de longue durée, et s'étendre à toute une région (**discordance**).

À retenir

Lors de l'affrontement de deux croûtes continentales dans un contexte géologique compressif, ces croûtes continentales se fracturent, se faillent et forment des écailles qui se superposent les unes aux autres. L'empilement de ces écailles permet d'expliquer le raccourcissement et l'épaississement de la croûte continentale**, formant ainsi une racine crustale en profondeur et un relief positif en surface**.
Cette superposition des écailles entraînant un épaississement de la croûte **à l'origine d'une modification des conditions de température et de pression en profondeur**.

C'est grâce au changement des conditions initiales de température et parfois de pression que **le métamorphisme** se met en place. En effet, les composants chimiques perdent ou gagnent une molécule d'eau (H_2O), ce qui entraîne une réorganisation chimique, et donc minéralogique, de la roche. En retrouvant la roche d'origine et la roche transformée après métamorphisme, on peut retracer l'histoire de cette roche et savoir dans quelles conditions de température et de pression elle a été soumise. Lorsque la pression devient trop élevée, une partie de la croûte fond, c'est la **fusion partielle**, donnant naissance aux granites intrusifs.

Les Alpes sont donc issues d'une collision de croûte continentale, en partie, ayant entraîné un empilement et un épaississement de cette croûte.



Liste des indices tectoniques mettant en évidence les mécanismes de formation des montagnes :

– des failles inverses (A)

– des plis (B)

– des charriages et chevauchements (C)

– granite intrusif (D).

Question ❶ **Compléter** le schéma bilan

Bilan du chapitre 3

Les chaînes de montagnes se caractérisent par des reliefs élevés et des racines crustales importantes. Ainsi, l'épaisseur de la croûte continentale d'une chaîne de montagne peut atteindre 70 km alors qu'elle n'est que de 30 km dans les zones ou l'altitude est nulle.

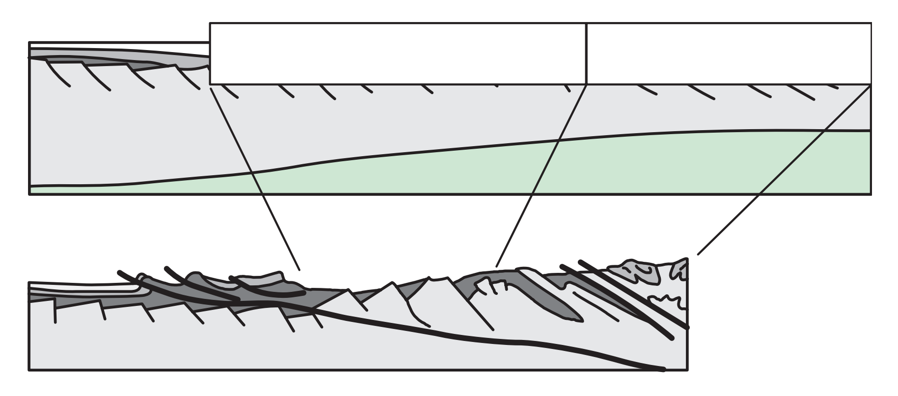
Différentes structures tectoniques témoignent d'un **raccourcissement et d'un épaississement** de la croûte continentale dans les chaînes de montagnes.

Les roches formant la **couverture sédimentaire** présentent des déformations : **plis ou failles inverses.**

Des **superpositions anormales** indiquent que des terrains ont été déplacés formant des **chevauchements**. Parfois ces déplacements ont été réalisés sur des dizaines de kilomètres, on parle alors de **nappes de charriage.**

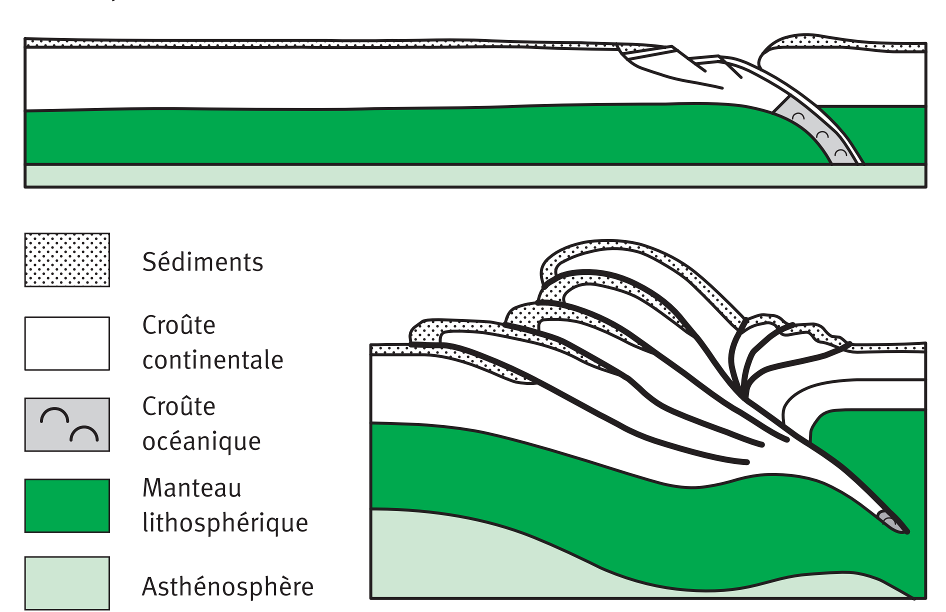
Des profils sismiques montrent que la **racine crustale** des chaînes montagnes présente des **croûtes continentales superposées** expliquant ainsi le raccourcissement et l'épaississement observé.

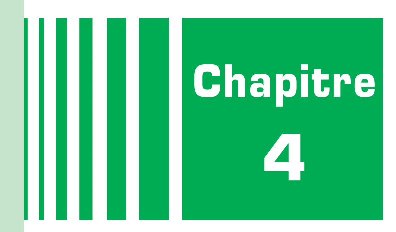
Des **indices pétrographiques** témoignent d'une modification des pressions et températures ayant pour origine l'épaississement lors de la formation de chaines de montagnes. Entraînées en profondeur, les roches subissent des transformations minérales donnant naissance à des minéraux plus stables dans les nouvelles conditions de pression et température : c'est le **métamorphisme.** Les roches de la croûte continentale peuvent également entrer en fusion dans les nouvelles conditions de pression et température. La fusion peut être partielle et donner naissance à des **migmatites** ou plus importante et donner naissance à des **granites.**



À l'aide de tous ces indices, on peut reconstituer l'histoire géologique d'une chaîne de montagnes :

On peut compléter ce premier schéma théorique par un schéma plus technique :



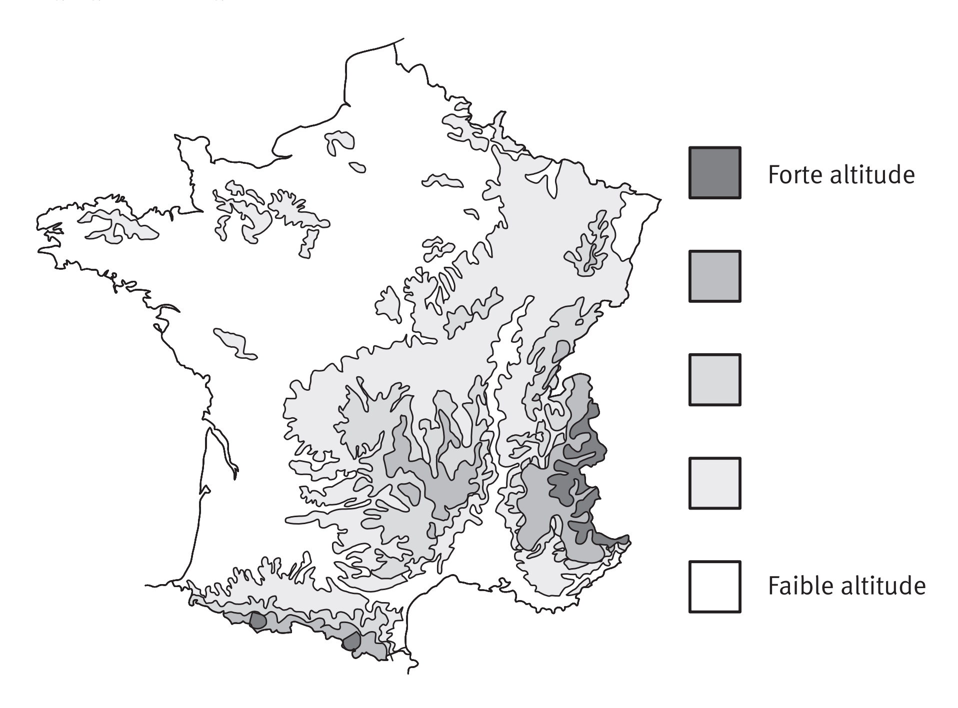


Chapitre 4 — Évolution de la chaîne de montagnes

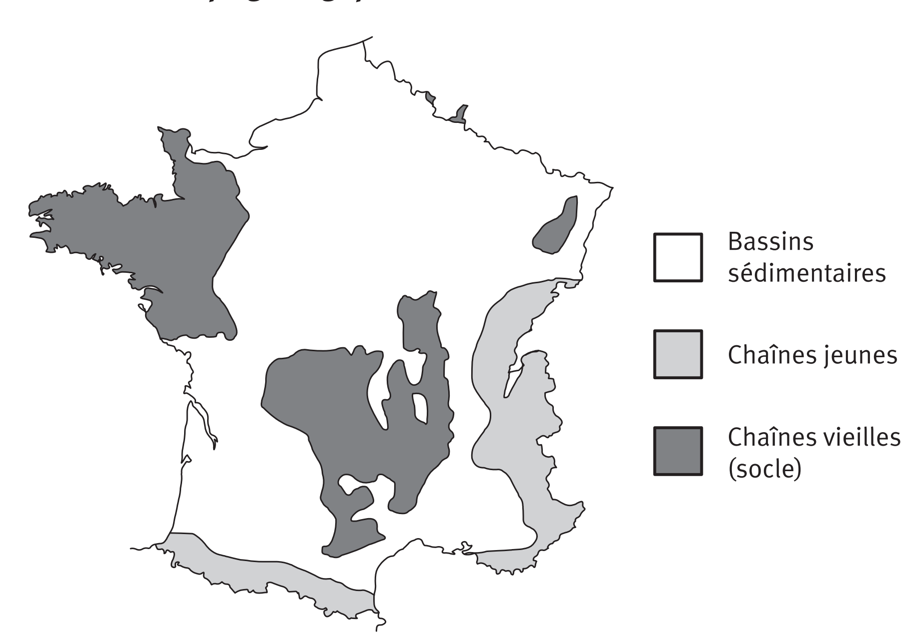


A Pour débuter

Document 1 *La carte de France des reliefs*



Document 2 *Carte des temps géologique de la France*



Question ❶ Quelle relation peut être établie entre l'âge des massifs montagneux et leur altitude ?

À retenir

Les chaînes de montagnes anciennes (Massif armoricain) ont des reliefs moins élevés que les chaînes récentes (Alpes et Pyrénées).

➥ **Comment expliquer ces différentes altitudes ?**

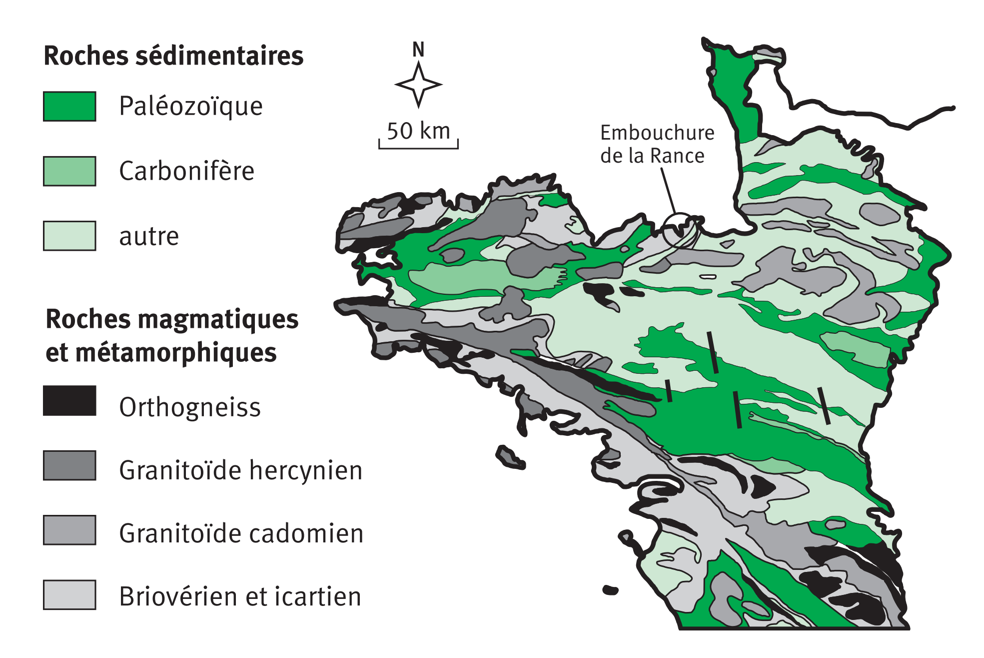


Cours

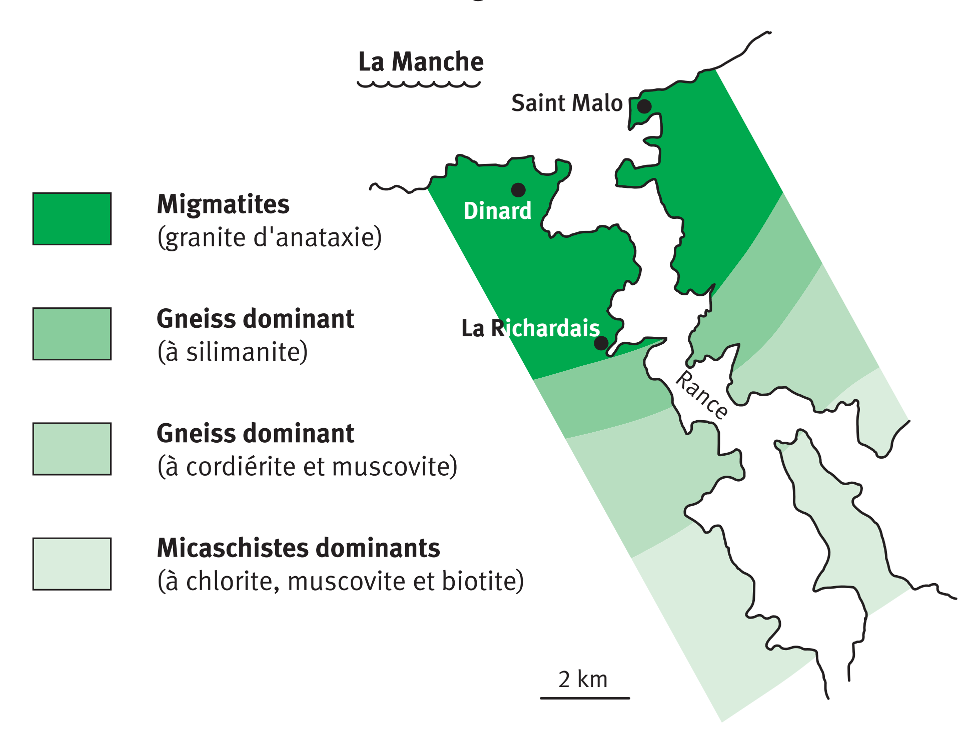
1. Le massif Armoricain, vestige d'une chaîne de montagnes disparue

Activité 1 **Des indices fournis par des données de terrains**

Document 3 ***Carte géologique simplifiée du Massif armoricain***



Document 4 ***Détail des faciès rencontrés le long de la Rance***



Document 5 ***Les roches à l'affleurement dans la vallée de la Rance***

Document 5a ***Migmatite affectée par des plis***

À la pointe du Moulinet à Dinard, dans le Massif armoricain, on trouve tout le long de la côte des roches très hétérogènes, plus ou moins altérées et qui sont globalement d'aspect granitique.

Les principaux minéraux identifiables sont : le quartz, les feldspaths et la biotite.

À l'échelle de l'affleurement, certaines parties de la roche présentent un aspect rubané caractéristique des gneiss, d'autres sont des gneiss, mais leur organisation est moins régulière et, enfin, certaines roches sont du granite.

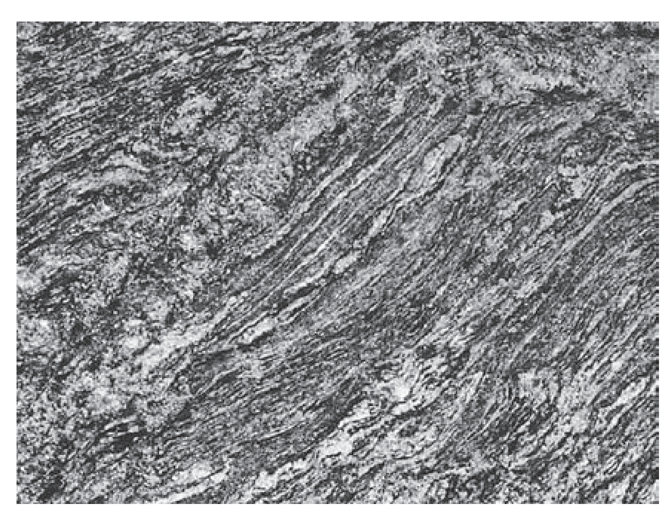
On remarque enfin la présence, sous forme d'enclave, de roche sombre, des gneiss à grain fin avec à l'intérieur des « yeux » de quartz. Ces roches sont marquées par de nombreux plis et cisaillements témoins de déformations plastiques.

Cet ensemble de roches coexistant sur un même emplacement se nomme **migmatite**.



Document 5b ***Migmatite présentant un aspect rubané***

Le gneiss a été ici affecté totalement par la **fusion** et a disparu. Cette migmatite a un aspect rubané, car elle est formée d'une alternance de zones sombres correspondant au résidu non fondu composé de biotite et de zones claires à composition quartzo-feldspathique.

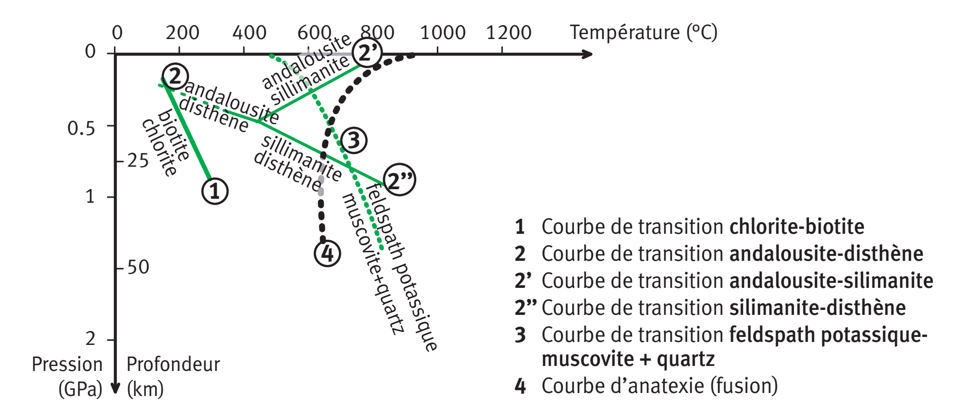


D'autres photos sont disponibles dans la photothèque de Rennes en utilisant les mots : « académie rennes rance ».

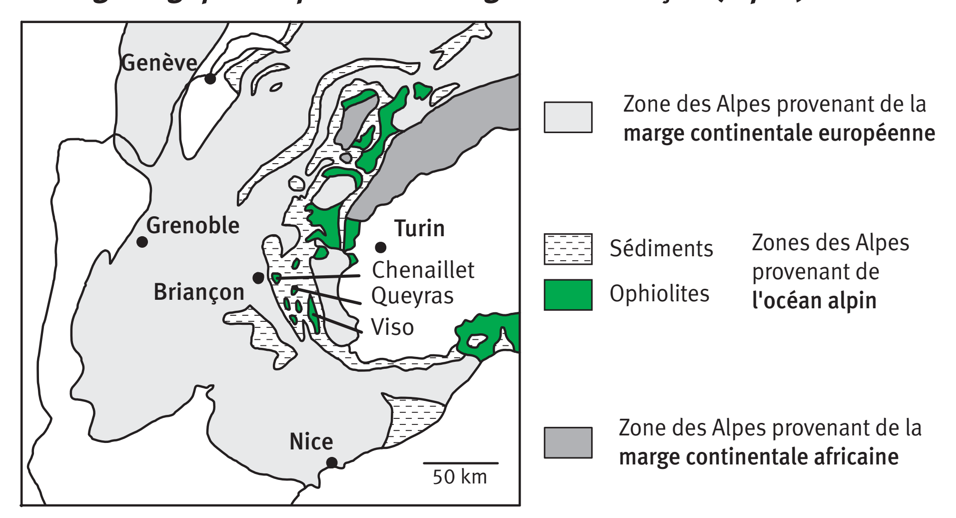
Point science

Migmatite vient du grec *migma*, « mélange ». C'est une ensemble qui, à l'échelle de l'affleurement et non du petit échantillon isolé, est un mélange de roches de type granite et de gneiss ou micaschiste. [...] Leur formation est liée à une **fusion partielle** (= anatexie) de roche type gneiss ou micaschistes, roches typiques de la croûte continentale. Certaines parties de la roche fondent et constituent alors le mobilisat, magma de composition granitique. D'autres parties restent solides et constituent le restat (ou restite) particulièrement riche en minéraux ferromagnésiens, principalement de la biotite.

Document 6 *Diagramme pression-température des faciès métamorphiques*



Document 7 *Carte géologique simplifiée de la région de Briançon (Alpes)*



Question

❶ À l'aide de ces documents, **relever** les indices tectoniques et pétrographiques permettant de mettre en évidence que le Massif armoricain est une ancienne chaîne de montagnes.

À retenir

À l'échelle régionale, locale et de l'échantillon, on peut observer des failles et des plis, indices tectoniques de déformations des roches par des forces convergentes.

Les indices pétrologiques montrent une fusion partielle des roches constitutives de la croûte continentale due à de hautes températures et hautes pressions, révélant là un enfouissement des roches concernées.

Nous avons la preuve qu'il y avait là une montagne auparavant.

C'est le Massif armoricain formé de –400 à –300 Ma environ suite à la collision entre la plaque Armorica au Nord et une avancée du Gondwana au Sud : la plaque ibéro-aquitaine.



Ainsi, leur rencontre a engendré une vaste chaîne de montagnes : la chaîne hercynienne ou chaîne varisque dont le Massif armoricain ne représente qu'un tout petit segment ! La chaîne hercynienne s'étendait en effet sur une grande partie de l'Europe.

Les roches du Massif armoricain se sont donc formées à grande profondeur : 25 à 30 km. Elles sont aujourd'hui à l'affleurement. L'altitude actuelle ne dépasse guère les 300 mètres ; les parties superficielles des chaînes de montagnes tendent donc à disparaître.

➥ **Quel événement a bien pu ramener des roches profondes à la surface ?**

2. Érosion et réajustement isostatique contribuent à la disparition des chaînes de montagnes

Activité 2 **L'effacement des reliefs**

Document 8 ***Un paysage de montagne***

Aller dans Google Earth, sélectionner les Alpes puis regarder les paysages (par images satellitales et en photos) au niveau de :

– Val Verzasca

– Mt Matterhorn

– Cervières

– Col de Vars

– Ravin de l'Opon.

Faire ce même travail dans les Pyrénées.

– Saint-Béat « Haute Garonne » : Flores en el lapiaz.

Document 9 ***Un modèle expérimental de l'érosion des sols***

1. Faire une « montagne » en terre d'au moins 20 cm de haut avec des murs droits et un toit plat. Avec une pomme de douche, arroser le toit en évitant un jet direct.
2. Recommencer le test. Cette fois, insérer une couche d'argile imperméable à moitié de la montagne puis de la terre classique.
3. Construire une autre montagne avec des pierres, de l'argile, du sable en couches dans différentes configurations.
4. Semer des graines de gazon par exemple, sur une nouvelle montagne, et faire tomber de la pluie sur cette montagne après que l'herbe a poussé.

Questions

❶ À partir du document 8, **observer** les paysages de montagne et **comparer** l'aspect des montagnes en avant-plan et dans le fond. Que s'est-il passé ? Quelles figures d'érosion retrouve-t-on ?

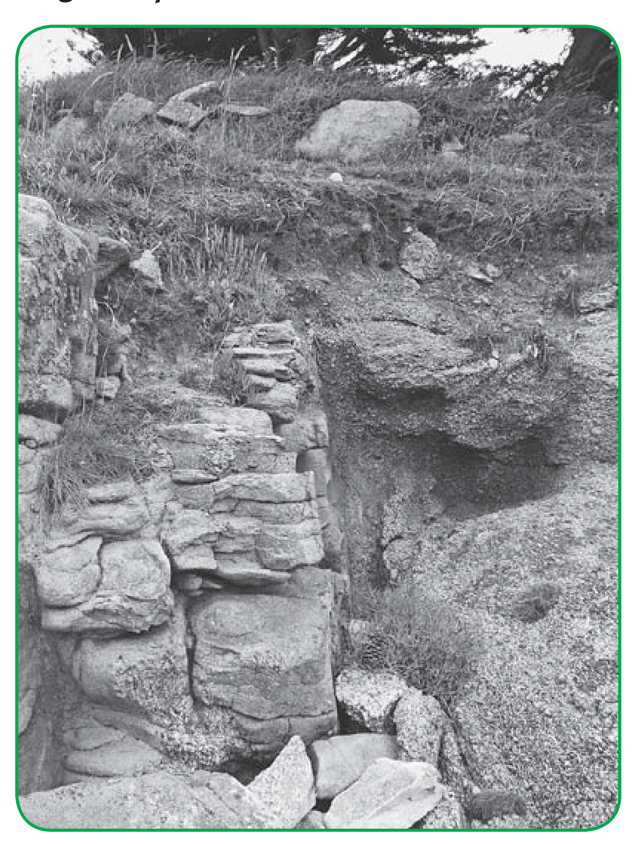
❷ Afin de comprendre ce qui s'est passé, après avoir réalisé le modèle expérimental, **décrire** ce qui a lieu pendant la pluie artificielle, ainsi que les différents comportements des matériaux face à la pluie artificielle.

Document 10 *Observation d'un paysage breton : Ploumanac'h*

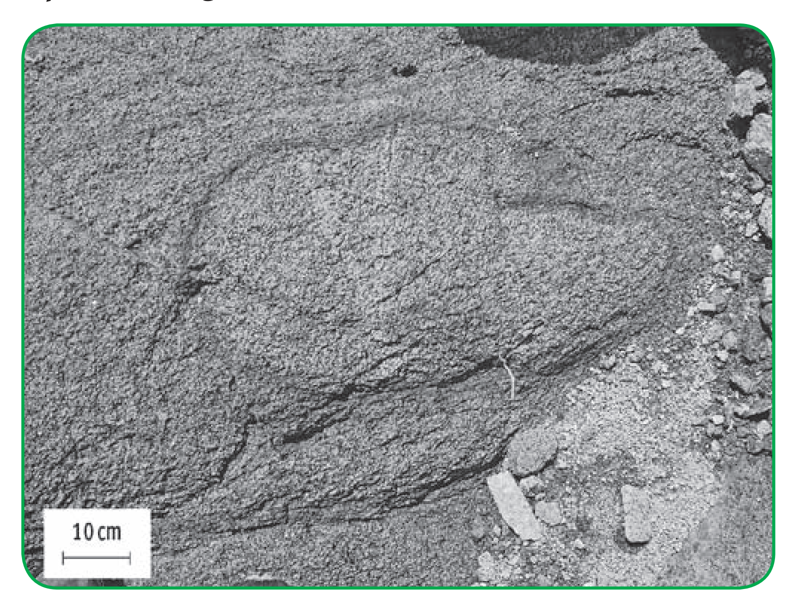
Document 10a *Chaos granitique de Ploumanac'h*



Document 10b *Détail du chaos granitique de Ploumanac'h*



Document 10c ***Débit en pelures d'oignon***



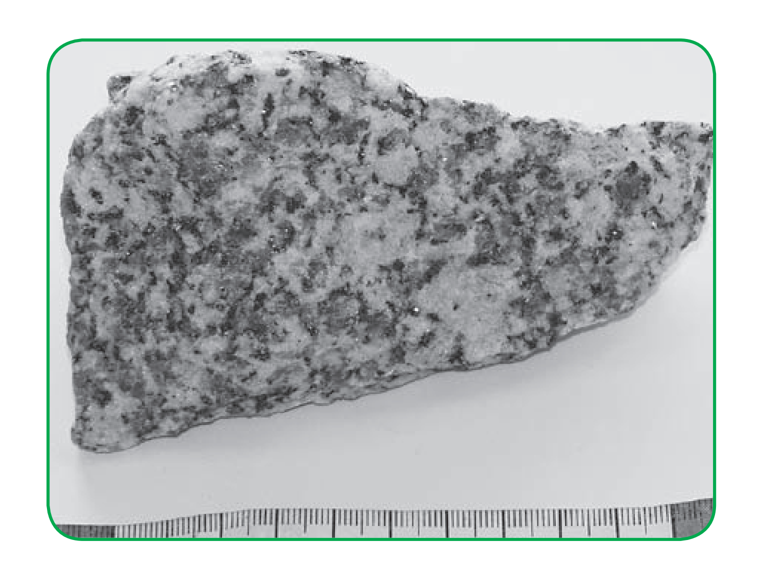
Point science

Le granite est une roche massive très cohérente, mais il est fracturé par de nombreuses fractures, les **diaclases**, qui représentent autant de voies de circulation pour l'**eau d'infiltration** responsable de son altération.

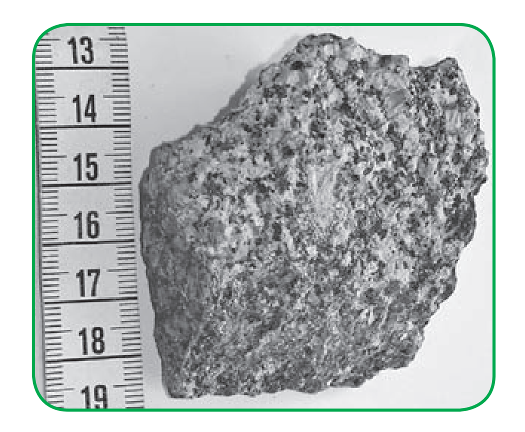
Au contact de l'eau, les biotites et certains feldspaths se désagrègent ; le granite perd sa cohérence et se transforme en **arène granitique**. Cette dernière remplit les diaclases qui s'élargissent progressivement. En progressant vers l'intérieur des blocs de granite, l'altération aboutit à la formation d'écailles concentriques (altération en pelures d'oignon) de **granite altéré** autour d'une **boule de granite sain**.

Document 11 ***Détail des matériaux observés au niveau d'un chaos granitique***

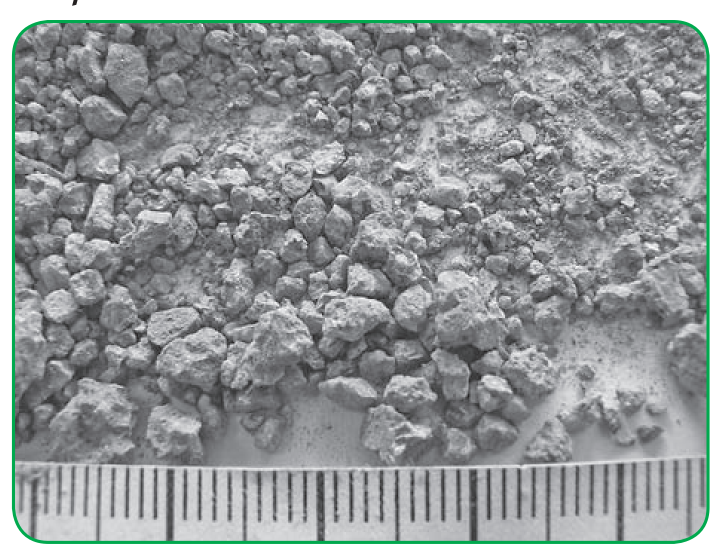
Document 11a ***Granite sain***



Document 11b *Granite altéré*



Document 11c *Arène granitique*



Questions

❸ **Décrire l'aspect**, la structure et la composition d'un granite sain, altéré et d'une arène granitique.

❹ **Identifier** l'agent responsable de l'érosion présentée ci-dessus.

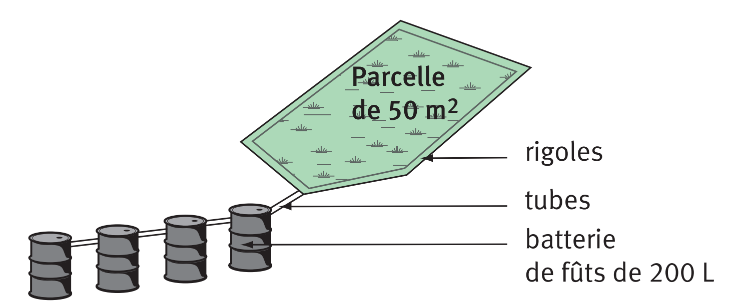
❺ **Faire un schéma** fonctionnel expliquant la formation d'un chaos granitique.

❻ Quel événement géologique permet l'apparition d'un chaos. Dans quel contexte a-t-il pu se mettre en place ?

Activité 3 Quantifier l'érosion d'un massif actuel

Des dispositifs de filtrage de l'eau des torrents de montagnes permettent de récolter et de quantifier les matériaux issus de l'érosion et transportés par l'eau de ruissellement.

Document 12 *Dispositif de filtration des eaux torrentielles*



Document 13 *Mesures réalisées*

Bassin	Surface (ha)	Taux de terrain nu (%)	Pente moyenne (%)	Altitude (m.as.l)
Roubine	0,133	79	75	850-885
Laval	86	68	58	850-1250
Brusquet	108	13	53	800-1260

Valeurs moyennes interannuelles	Roubine	Laval	Brusquet
Production de sédiments ($t.an^{-1}$)	17	8 848	29,8
Ablation équivalente (mm) :			
– de roche mère	5,0	5,5	0,08
– de matériau altéré en place	12,1	11	0, 16
Volume déposé/ volume total (%)	85	40	23
Volume transité/ volume total (%)	15	60	77

Document 14 *Érosion et isostasie*

Télécharger le logiciel Airy en tapant ces deux mots dans un moteur de recherche.

- **Cliquer sur « calcul »**/ construire un nouveau profil topographique équilibré.
- **Réaliser une montagne de 4 827 m d'altitude**. Cliquer sur « calcul, simuler un dépôt sédimentaire » pour atteindre une altitude de 8 000 m puis « réajustement isostatique ».
- **Cliquer à nouveau sur « calcul »** puis « simuler une érosion » de 1 000 m et cliquer sur « réajustement isostatique ».
- Qu'observe-t-on ?

Question

❶ Après analyse rigoureuse des documents 12 à 14, indiquer les facteurs qui influencent la vitesse de diminution des altitudes.

À retenir

Sous l'action mécanique, les roches affleurant en altitude dans les montagnes sont fissurées et cassées. En effet, en altitude, les roches sont soumises à des variations de températures qui entraînent des dilatations et des compactions successives des roches. À la longue, **les roches se fragilisent, se fissurent et se faillent**.

L'eau de pluie s'infiltre dans ces failles et toujours sous l'effet des variations de température passe de l'état solide à liquide. L'eau sous forme de glace prend plus de place que l'eau à l'état liquide. Cette augmentation de volume de l'eau dans les fissures fait éclater la roche. Au moment du dégel, les fragments de roches se désolidarisent.

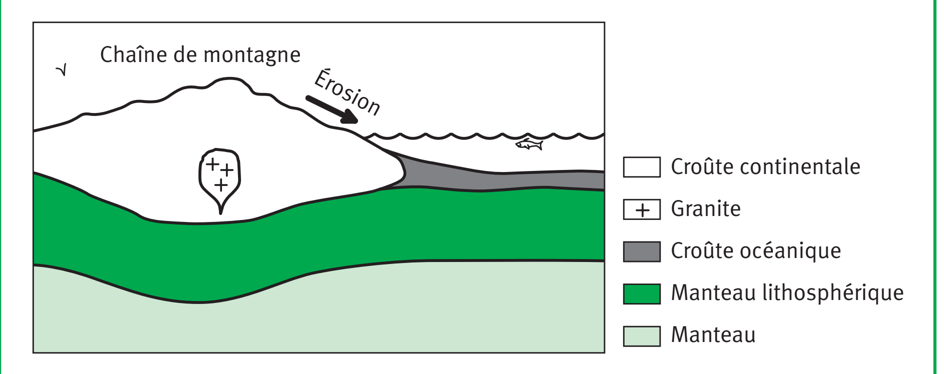
À ces agents d'érosion mécanique s'ajoute l'altération chimique. L'eau à l'état liquide s'infiltre au sein des nombreuses failles (diaclases) et se retrouve au contact d'une très grande surface de roche.

Cette eau circulante hydrolyse et ainsi altère les minéraux constituant la roche (feldspaths et micas) aboutissant à la formation d'argile mélangée à des minéraux désassemblés (le quartz n'est pas altéré).

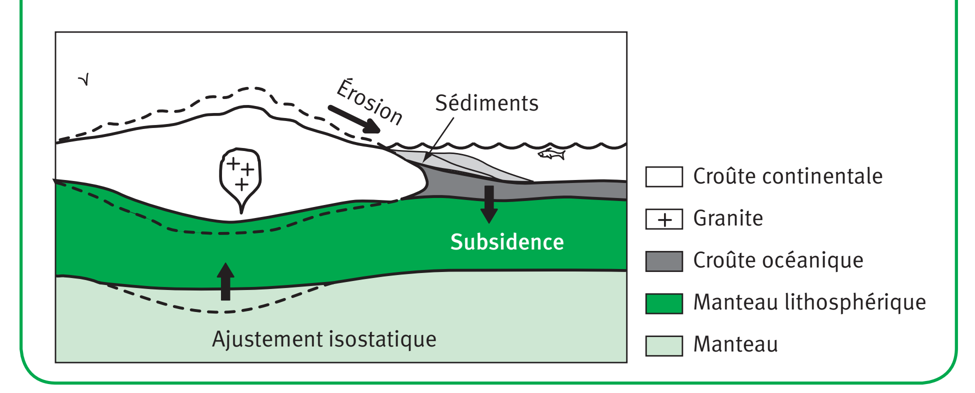
La roche devient non cohérente, elle est ameublie.

Les matériaux, issus des altérations mécanique et chimique combinées, sont ensuite entraînés par les eaux de ruissellement jusqu'à des torrents de montagnes, des rivières, des fleuves et des océans et mers.

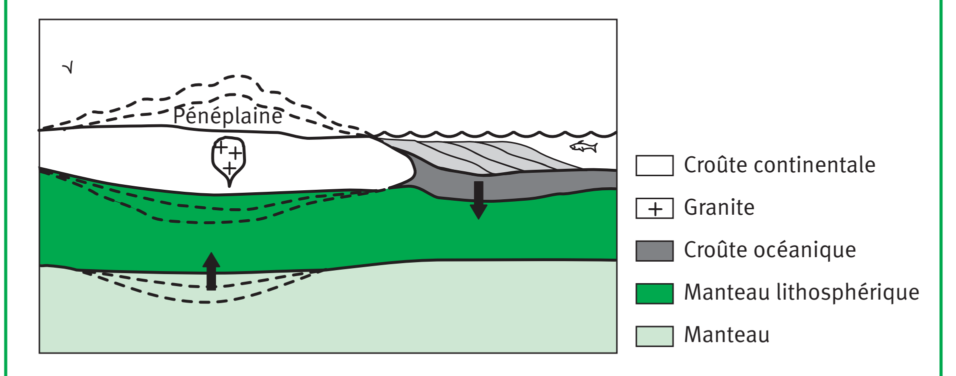
À l'échelle continentale, l'érosion par les eaux de ruissellement, la glace et le vent tend à aplanir les reliefs vers un profil de base qui est le niveau des mers.



Selon le principe de l'isostasie, l'érosion de matériaux à la surface d'un continent entraîne un rééquilibrage des masses : il y a remontée de l'ensemble de la lithosphère continentale.



De cette manière, la croûte continentale s'amincit progressivement : on tend vers la pénéplaine et vers une épaisseur de croûte continentale compatible avec l'épaisseur de la croûte océanique, en conformité avec les densités respectives des deux croûtes.



Le rééquilibrage isostatique tend à faire disparaître les reliefs tant à la surface qu'en profondeur.

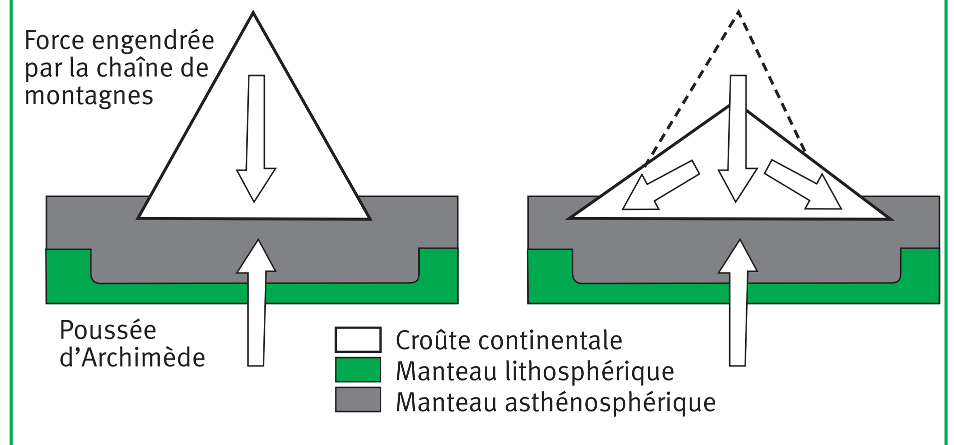
Mais ce rééquilibrage ne permet pas une diminution de l'altitude aussi rapidement que prévu car à chaque fois que du matériel est érodé des reliefs, il y a une **remontée isostatique** de l'ensemble de la lithosphère continentale.

La diminution de l'altitude due à l'érosion se retrouve alors compensée par la remontée isostatique ce qui ralentie le phénomène de diminution des reliefs.

En effet, on pense que pour 5 mètres d'érosion, la remontée isostatique serait de 4 mètres. En d'autres termes, pour diminuer l'altitude d'un relief de 1 mètre, il faut en éroder 5 mètres !

Enfin, un dernier phénomène autre que l'érosion et le rééquilibrage isostatique vient s'ajouter aux phénomènes responsables de la diminution des reliefs, c'est **l'effondrement gravitaire**.

À la fin de la phase de création des montagnes, aussi appelée l'**orogénèse**, le poids de la chaîne de montagnes est tellement important que la force verticale engendrée par la chaîne de montagne devient supérieure à la poussée d'Archimède exercée par le manteau à l'aplomb de la chaîne de montagne.



À ce moment-là, les couches inférieures de la croûte continentale s'échauffent en profondeur et deviennent plus déformables (plastiques).

Sous l'action des forces exercées par le poids de la chaîne de montagnes, la croûte continentale s'étire sur les côtés entraînant une diminution de l'épaisseur moyenne de la croûte et une diminution de l'altitude de la montagne.

3. Le recyclage de la matière

a) Le transport de la matière

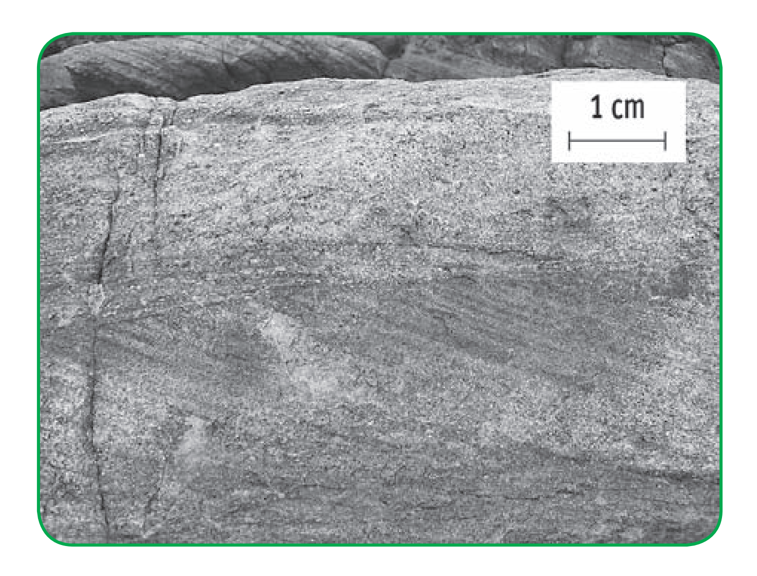
Activité 4 **Le devenir des produits de démantèlement**

Document 15 *L'affleurement de grès rose de Fréhel*

1 m



Document 15b *Détail de l'affleurement, stratification entrecroisée*



Questions

❶ **Réaliser un croquis** soigné, légendé de l'affleurement de grès. Ne pas oublier un titre précis, une indication d'échelle et d'orientation.

❷ Le grès est formé d'une accumulation de grains de quartz et de feldspath. Comment appelle-t-on ce type de roche ? Quelle peut être l'origine de ce quartz et ces feldspaths ? Comment a-t-il pu arriver en ce lieu d'accumulation ?

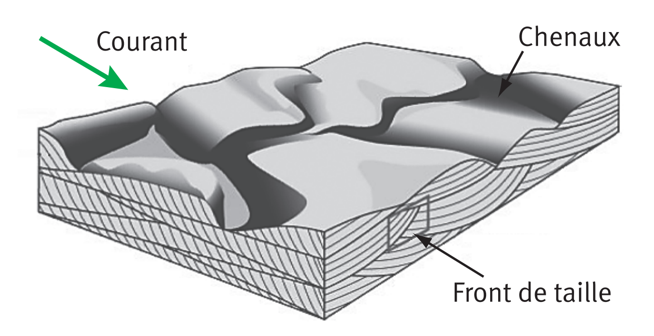
❸ Vitesse de sédimentation :

– **Calculer** le temps géologique nécessaire pour former une strate d'un mètre d'épaisseur sachant qu'on estime qu'actuellement il se

dépose environ 20 µm (ou 10^{-6} m) de sédiment sableux par mois au fond de la mer et que, au fur et à mesure, la colonne sédimentaire est compactée et perd 25 % de son volume.

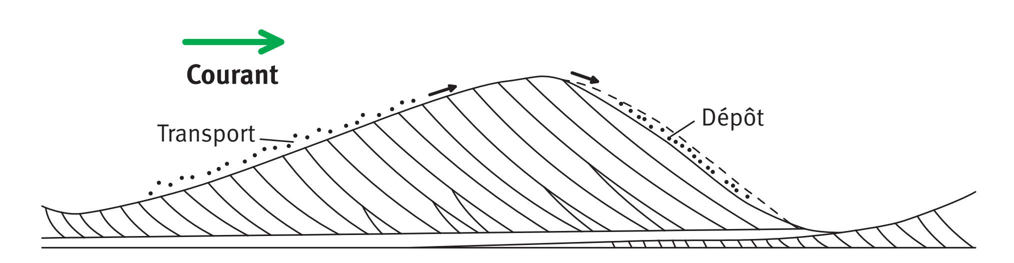
– Au cap Fréhel, la falaise de grès rose dépasse les 70 m, **calculer** combien de temps il a fallu pour la constituer.

Document 16 ***Un bloc diagramme explicatif permet de comprendre la formation oblique***

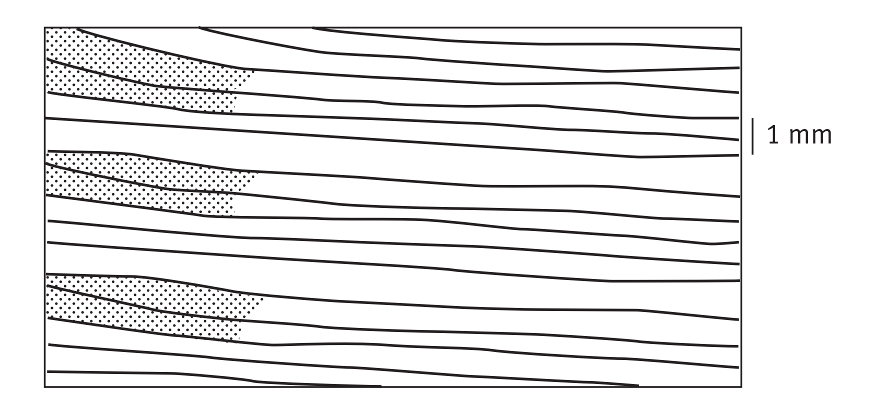


On parle de « laminassions obliques en auge » ou « rides 3D ».

En coupe :



Document 17 ***Schéma d'interprétation de litage et laminassions horizontales dans les sables***



Question ❹ **Réaliser** un dessin d'interprétation du document 15b pour proposer une hypothèse sur le type de paysage qui existait lors de la formation de ce grès et **indiquer le mode de formation** de ce grès.

À retenir

Le grès est une roche détritique (roche sédimentaire composée d'au moins 50 % de débris issus de l'érosion d'autres roches), issue de l'agrégation et de la cimentation (ou diagenèse) de grains de sable (quartz, feldspath et micas noirs). Ces grains de sable peuvent être issus de l'altération d'un granite.

On peut observer que les zones de formation des grès sont plus ou moins éloignées des zones d'érosion et d'altération des granites.

➥ **Comment les matériaux issus du démantèlement des montagnes sont-ils transportés jusqu'à leur lieu de sédimentation ?**

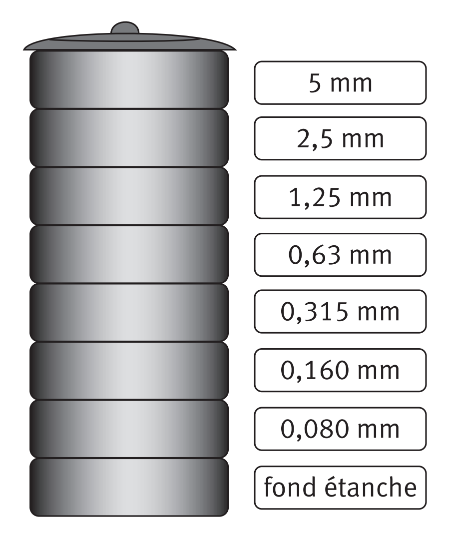
Activité 5 Le transport des matériaux de démantèlement

Document 18 *Analyse granulométrique par tamisage*

L'analyse granulométrique permet de déterminer et d'observer les différents diamètres de grains qui constituent un granulat. Pour cela, l'analyse consiste à séparer et à classer ces grains selon leur diamètre à l'aide de tamis. Les grains ainsi isolés peuvent être pesés pour déterminer la proportion de chacun dans le granulat.

Le **refus** désigne la partie des grains retenue dans un tamis. Le **refus cumulé** représente tous les grains bloqués jusqu'au tamis considéré (les grains du tamis considéré plus les grains bloqués dans les tamis de mailles supérieures).

Colonne de tamis



Le **tamisat** ou **passant** désigne la partie qui traverse le tamis.

Les masses cumulées des différents refus sont exprimées en pourcentage par rapport à la masse initiale de l'échantillon de granulat. Les pourcentages ainsi obtenus permettent d'observer la proportion de refus cumulé ou de tamisats jusqu'à un diamètre de grain par rapport au granulat. (La représentation graphique est plus explicite.)

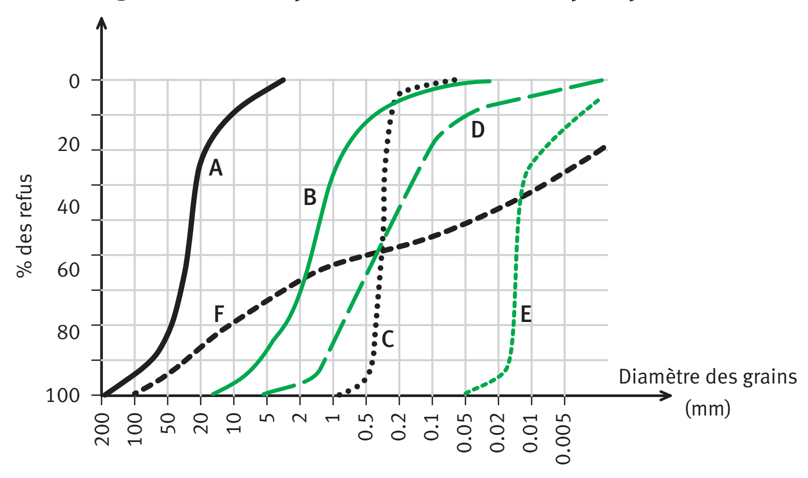
Résultats

Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés en %	Tamisats cumulés (%)
5	39		
2,5	21,5		
1,25	650		
0,63	1380		
0,315	1800		
0,160	1910		
0,08	1980		
Granulat filtré	1999	100	0

Questions ❶ **Calculer le pourcentage de refus** cumulés et de tamisats cumulés.

Document 19 *Modélisation du transport sous forme solide*

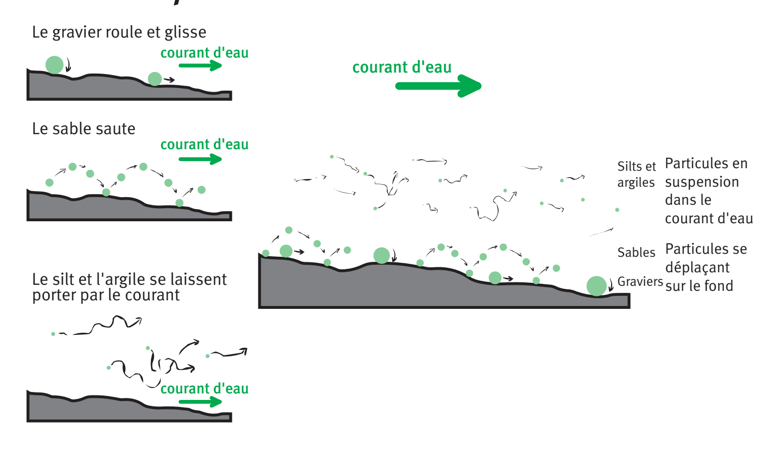
Courbes granulométriques cumulatives de quelques sédiments



A : gravier ;
C : sable
E : loess
} Courant ou vent faible

B : gravier ;
D : sable ;
F : argile.
} Courant fort

Document 20 *Un mode de transport : l'eau*



Question ❷ À l'aide de vos résultats, identifier le sédiment et son mode de transport étudié.

À retenir

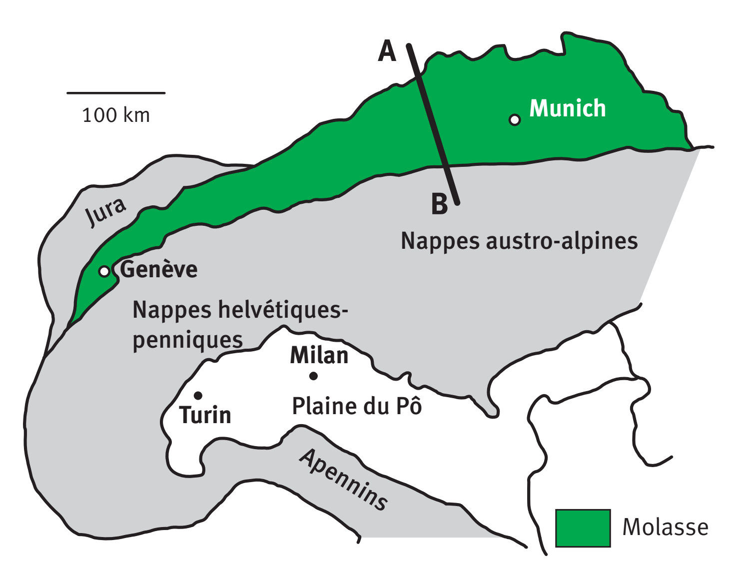
Les produits de démantèlement, issu de l'érosion, sont transportés sous forme solide (graviers et sables) ou soluble (silt et argiles).

L'agent de transport est l'eau, le plus souvent. Ces produits sont transportés plus ou moins loin de leur lieu de formation, en fonction de leur taille et de la force de l'agent de transport, jusqu'en des lieux plus ou moins éloignés où ils se déposent et sédimentent.

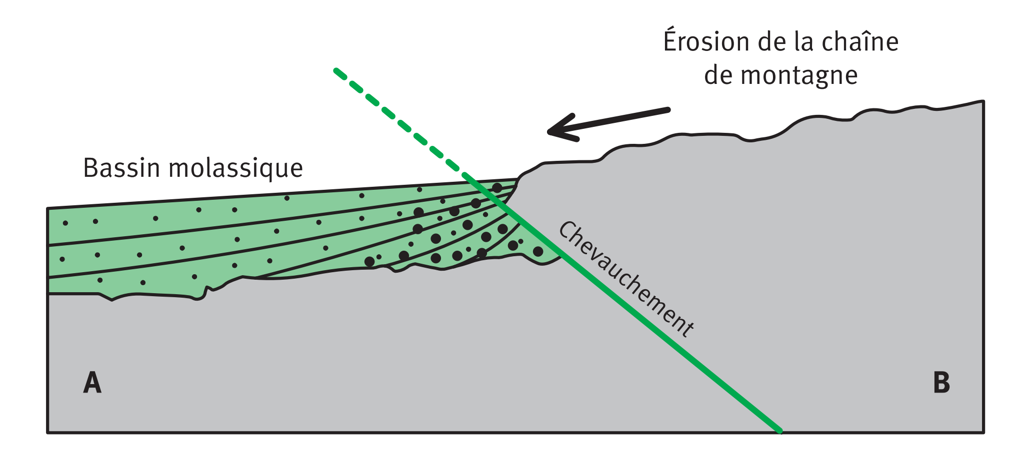
b) Le dépôt de la matière

Activité 6 **Une roche sédimentaire particulière : le bassin molassique péri-alpin**

Document 21 ***Localisation du bassin molassique péri-alpin***



Coupe géologique A-B



Document 22 ***Molasse de Saint-Restitut***

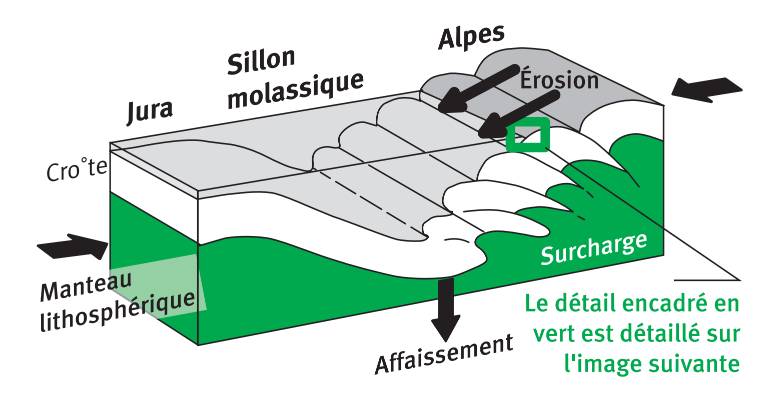


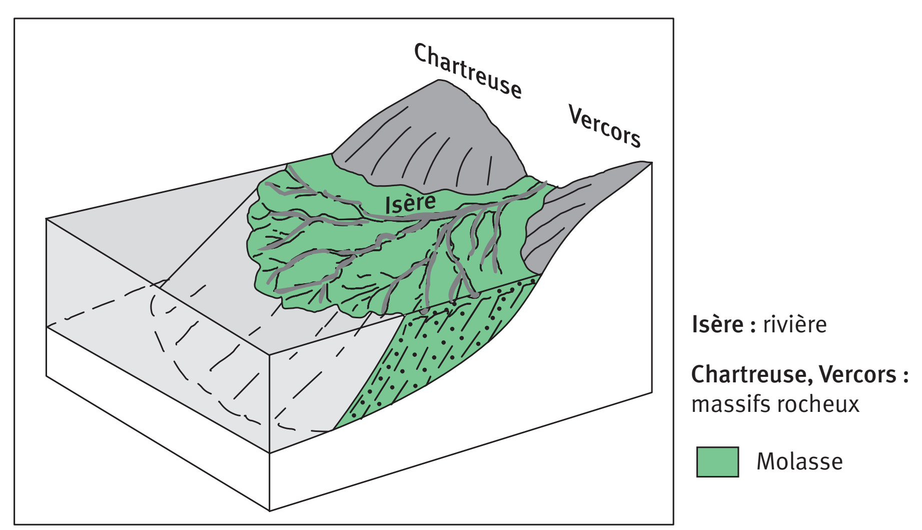
Questions

❶ Après avoir décrit l'échantillon de molasse (taille des composants, agencement, forme...), **indiquer la nature** de cette roche.

❷ D'après les constituant présents (taille et nature) et leur agencement, **indiquer le type de transport** de ces sédiments permettant un tel dépôt.

Document 23 ***Contexte de formation du bassin molassique péri-alpin***





Isère : rivière

Chartreuse, Vercors : massifs rocheux

Molasse

Question ❸ Par un court texte, **expliquer le mode de formation** des molasses péri-alpines.

À retenir

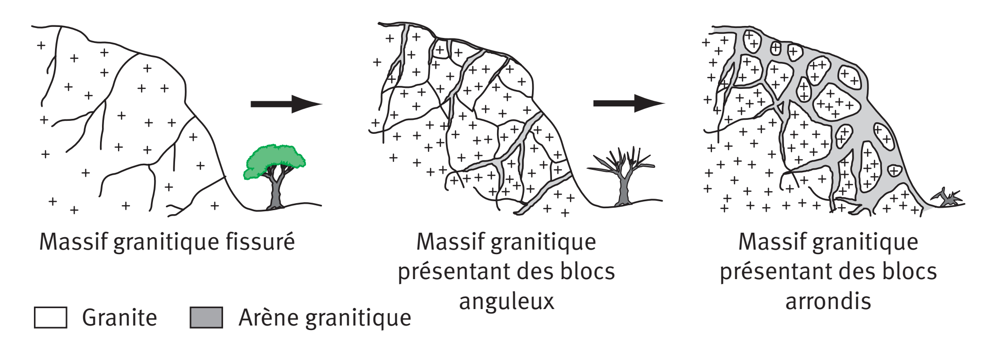
Les molasses sont des formations de roches sédimentaires détritiques synorogéniques, qui s'accumulent dans des bassins périphériques d'une chaîne de montagnes.

Dès la formation des montagnes (orogénèse), le relief naissant subit une érosion. Les sédiments ainsi obtenus sont arrachés des montagnes et charriés par les torrents jusqu'à la mer ou dans les bassins formés lors de la création des chaînes de montagnes.

Ces sédiments sont ensuite repris par les nappes de charriage.

Bilan du chapitre

L'**érosion** est le processus de dégradation et de transformation du relief, et donc des roches, qui est causé par tout agent externe tel que la pente ; la physique (dureté) et la chimie (solubilité par exemple) de la roche ; l'absence ou non de couverture végétale et la nature des végétaux ; l'histoire tectonique (fracturation par exemple).



L'érosion implique une désagrégation superficielle de la roche. Elle se produit sur place et entraîne la formation de débris.

L'érosion agit à différents rythmes et peut, sur plusieurs dizaines de millions d'années, araser des montagnes, creuser des vallées, faire reculer des falaises.

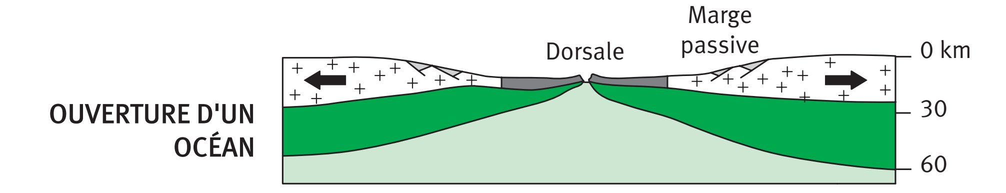
Selon le **principe de l'isostasie**, l'érosion des matériaux à la surface d'un continent entraîne un rééquilibrage des masses ; il y a remontée de l'ensemble de la lithosphère continentale. Ainsi une érosion de 1000 mètres n'abaissera l'altitude que de 800 mètres.

L'érosion associée au phénomène de réajustement isostatique explique que l'on peut voir affleurer, dans les vieilles chaînes de montagnes comme le Massif Armoricain, des roches formées à plusieurs kilomètres de profondeur.

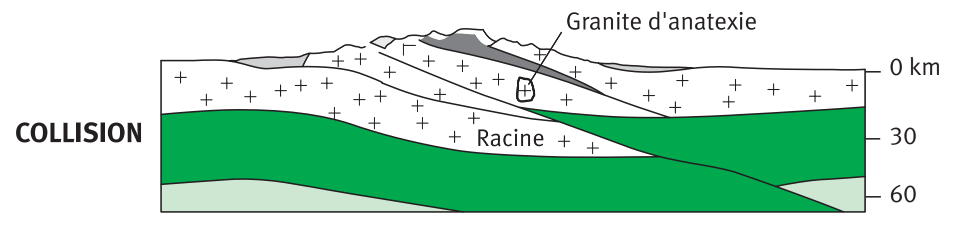
En plus du phénomène d'érosion et d'isostasie, l'effondrement gravitaire contribue également à l'abaissement des reliefs.

Synthèse

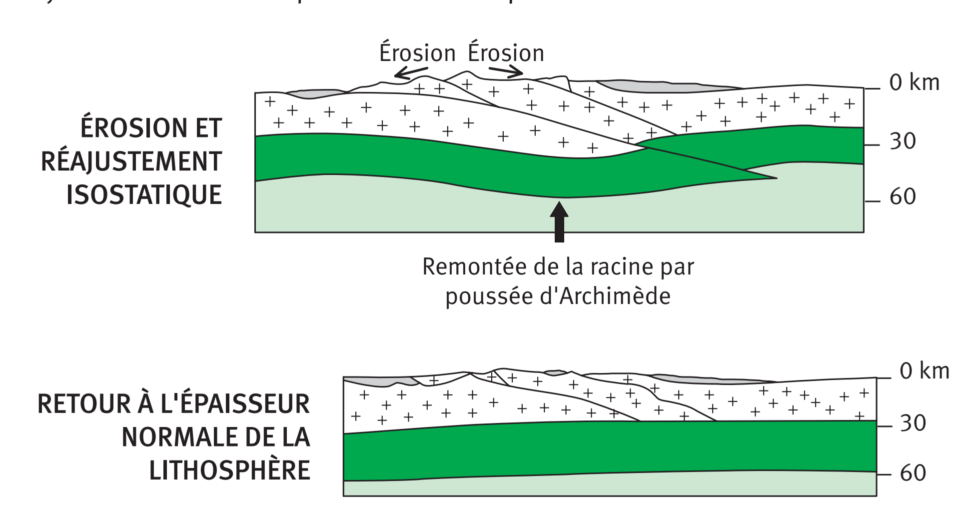
Ouverture d'un océan et création de croûte océanique. Expansion océanique (rappel 1re S)



Collision : accumulation de croûtes océanique et continentale. C'est l'**orogenèse**. Une chaîne de montagnes se forme par **empilement de croûte**. Lors de cet empilement, la croûte continentale enfouie est portée à haute pression et faible température, entraînant la fusion partielle de cette croûte continentale ; il y a formation de **granite anatexique** constituant en majorité la croûte continentale.



Dès la naissance des **reliefs**, ceux-ci subissent l'action du vent, de la glace et de l'eau, entraînant une **érosion** de ceux-ci. Les reliefs sont des systèmes instables qui tendent à disparaître dès leur formation.



Les **matériaux arrachés** des montagnes **sont transportés** plus ou moins loin de leur lieu de production. Lors de l'orogenèse, ces matériaux sont repris dans les nappes de charriage et à nouveau accumulés pour former de nouveaux reliefs.

Au cours des **cycles orogéniques**, la croûte continentale est **recyclée** – mais seules les parties érodées ou ayant subi une fusion partielle –, ce qui explique qu'à certains endroits la croûte continentale puisse avoir des âges très anciens.



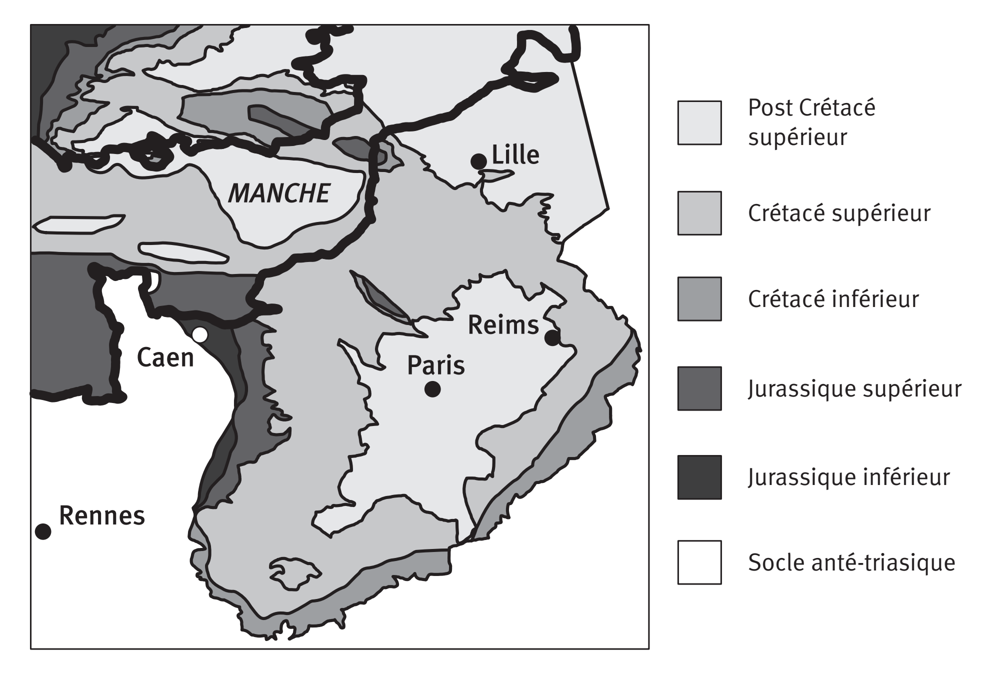
Exercices du chapitre 2

Exercice 1

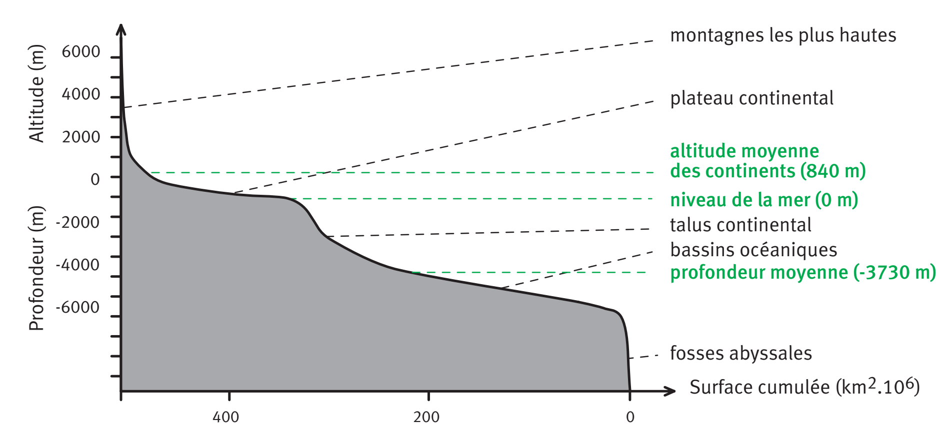
Nature géologique de la Manche

La Manche est une mer située dans le nord-ouest de l'Europe, qui s'étend sur une superficie d'environ 75 000 km² ; longue de 500 km, large de 250 km (au maximum) et profonde de 172 m en son point le plus bas avec une valeu r moyenne de 54 m.

Document 1 *Carte géologique simplifiée de la Manche et des terres émergées l'entourant*



Document 2 *Courbe cumulée de la répartition des altitudes et des profondeurs à la surface de la Terre*



Questions

❶ À l'aide du document 2, repérer sur la carte simplifiée du document 1 les terres émergées et le plateau continental.

❷ Indiquer la nature des roches retrouvées dans la Manche.

Exercice 2 — Calcul de la profondeur du Moho

On appelle Moho la discontinuité qui sépare la croûte (océanique ou continentale) du manteau sous-jacent.

Ce terme renvoie au nom du premier scientifique, le Croate Mohorovicic, à l'avoir mise en évidence en 1909. Ce dernier a utilisé la sismologie pour déterminer l'épaisseur de la croûte en domaine continental.

Il a observé qu'une station située à une certaine distance du lieu d'un séisme recevait non pas un mais deux trains successifs d'ondes P et S. Il en a déduit que :

– certaines ondes se déplacent en ligne droite de l'épicentre à la station ;

– d'autres sont réfléchies par la discontinuité croûte-manteau avant d'arriver à la même station.

On considère un séisme de surface, pour lequel le foyer se confond avec l'épicentre. Les données sont :

Données / domaines	Distance foyer-station	Temps d'arrivée des 1res ondes	Temps d'arrivée des 2ndes ondes
continental	100 km	18,1 s	21,1 s
océanique	80 km	13,6 s	14,4 s

Questions

❶ Calculer la profondeur du Moho en domaine continental et en domaine océanique.

❷ Comparer ces deux valeurs.

Rappel Le Moho est une discontinuité chimique qui sépare la croûte du manteau.

Exercice 3 — La profondeur du Moho sous l'Himalaya

Recenser, extraire et organiser des informations

On cherche à déterminer la profondeur du Moho au niveau de la chaîne himalayenne. Les données obtenues par sismologie sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Données / domaines	Distance foyer-station	Temps d'arrivée des 1res ondes	Temps d'arrivée des 2ndes ondes
himalayen	150 km	27,1 s	37,1 s

Questions

❶ Calculer l'épaisseur de la croûte continentale en région himalayenne.

❷ Comparer ce résultat aux valeurs habituellement rencontrées au niveau des croûtes continentales.

Aide

Pour plus de facilité, on peut confondre le foyer et l'épicentre.

Exercice 4 Formation d'un bassin sédimentaire

Des sédiments se déposent sur le plancher océanique et sont à l'origine d'un bassin sédimentaire. La compensation isostasique est réalisée par le déplacement vertical du manteau.

Questions

1. Traduire par un schéma explicatif la situation à l'équilibre isostasique après sédimentation. On indiquera par D la profondeur initiale de l'océan, d la profondeur finale, s la masse volumique des sédiments, m la masse volumique du manteau supérieur.

2. Sachant que l'épaisseur de sédiments est donnée par :

$$S = \frac{\rho_e - \rho_m}{\rho_s - \rho_m}(D - d)$$

quelle épaisseur de sédiments comblerait le bassin si D = 5 km, $\rho s = 2500\ kg.m^{-3}$, $\rho e = 1000\ kg.m^{-3}$ et $\rho m = 3300\ kg.m^{-3}$?

Exercice 5 Glace et isostasie



Dans tout l'exercice, le modèle d'Airy sera utilisé.

En période glaciaire, une région continentale d'altitude initiale supposée nulle est recouverte d'un inlandsis de 5000 m d'épaisseur.

Questions

1. Quelle est à l'équilibre la nouvelle altitude de la région ?

2. Que se passe-t-il lors du retour en période interglaciaire ?

Masse volumique de la glace d = 0,91 $g.cm^{-3}$, du manteau D = 3,3 $g.cm^{-3}$

On prendra a : altitude après remontée isostatique ; p=profondeur du manteau

Exercice 6 Collision et isostasie

Suite à une collision continentale, l'épaisseur de la croûte continentale double.

Sachant que, à l'équilibre isostasique, il y a équilibre des masses sur différentes verticales tel que :

p*(Ei + h + r) = p*(Ei) + d (r)

et que : Ef – Ei = r + h

Sachant que Ei = épaisseur initiale de la croûte continentale ;

Ef = épaisseur finale de la croûte continentale ; h = l'altitude du relief forme et r = épaisseur de la racine crustale.

De plus, p la densité de la croûte continentale (2,7) et d celle du manteau (3,2).

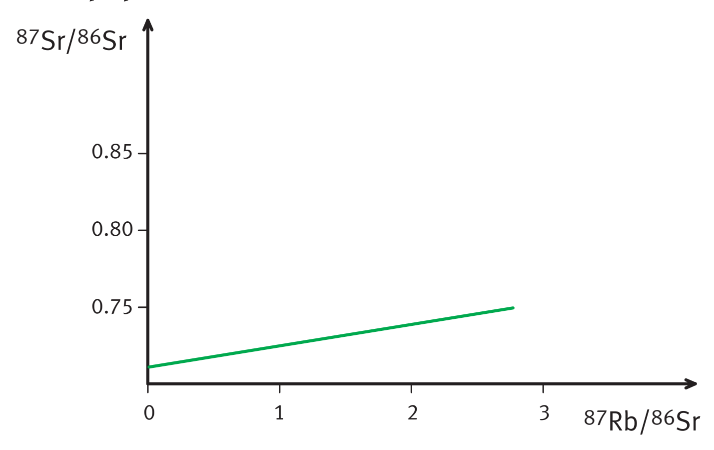
Questions

1. Si on considère que l'épaisseur initiale de la croûte continentale avant la collision est de 30 km, quelle est l'épaisseur de la racine crustale ?

2. Quelle est l'altitude du relief formé ?

Exercice 7 — Détermination de l'âge d'une roche magmatique à l'aide du couple Rubidium-Strontium (Rb/Sr)

Document 1 — ***Rapports isotopiques rubidium/ strontium***



Questions

❶ Quel est l'âge de la roche dont la droite isochrone a une pente de 0,0143 sachant que $t = \frac{(ln\ pente\ de\ la\ droite + 1)}{\lambda}$ et λ=1,42.10−11 ?

❷ Quel est l'âge du granite breton dont on a déterminé les rapports isotopiques suivants sur différents échantillons ?

Document 2 — ***Rapports isotopiques de différents échantillons***

Rapport / échantillon	87Rb/86Sr	87Sr/86Sr
A	31,50	0,8622
B	13,54	0,7726
C	23,43	0,8224
D	43,35	0,9146
E	15,38	0,7816
F	12,73	0,7677

Exercices du chapitre 3

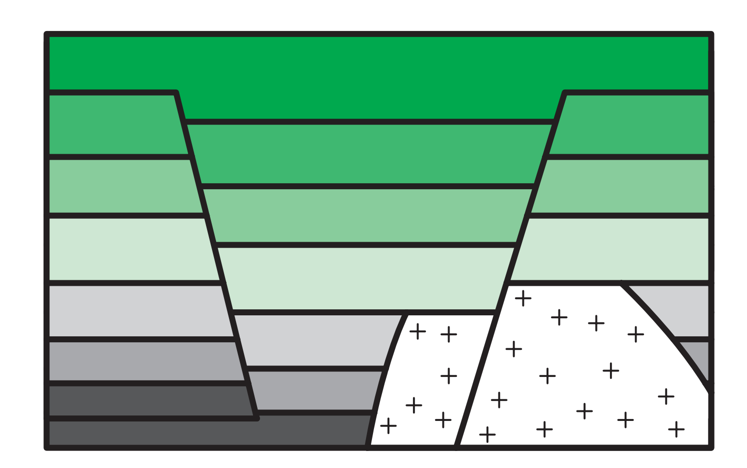
Exercice 1 — Principe de datation relative

Question

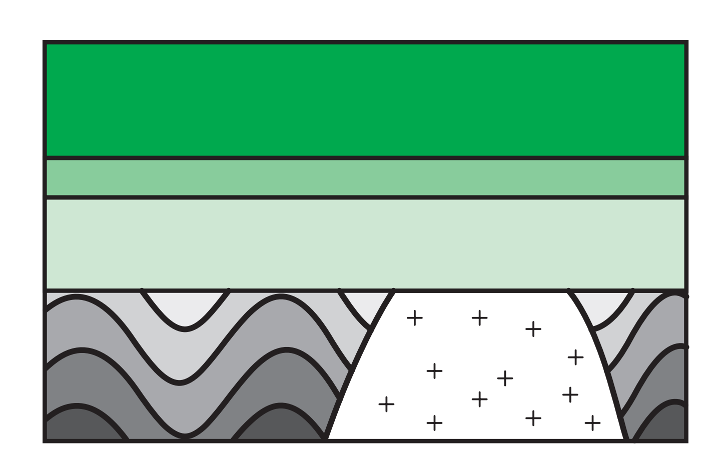
❶ **Raisonner et rédiger** en quelques lignes, reconstituer l'histoire géologique des différentes formations proposées.

Citer les principes de datation relative utilisés pour vous justifier.

Document 1



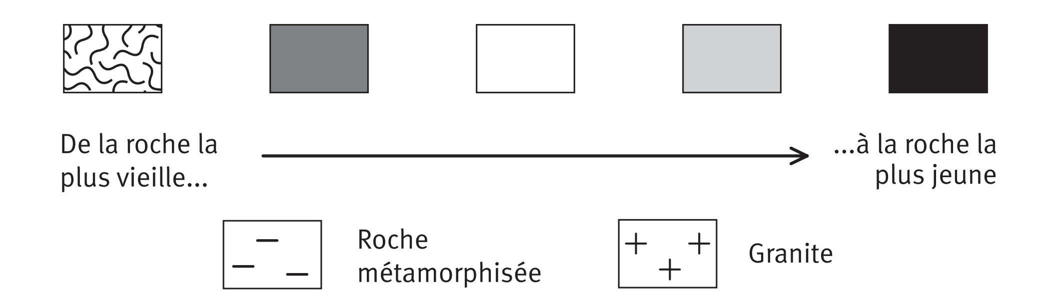
Document 2



Exercice 2 De la coupe à la carte et *vice versa*

Question

❶ **Raisonner et réaliser** un schéma, dessiner la coupe correspondant à la carte simplifiée, ou l'inverse, en utilisant la légende :



A
B
B
A

C
D
C
D

E
F
E
F

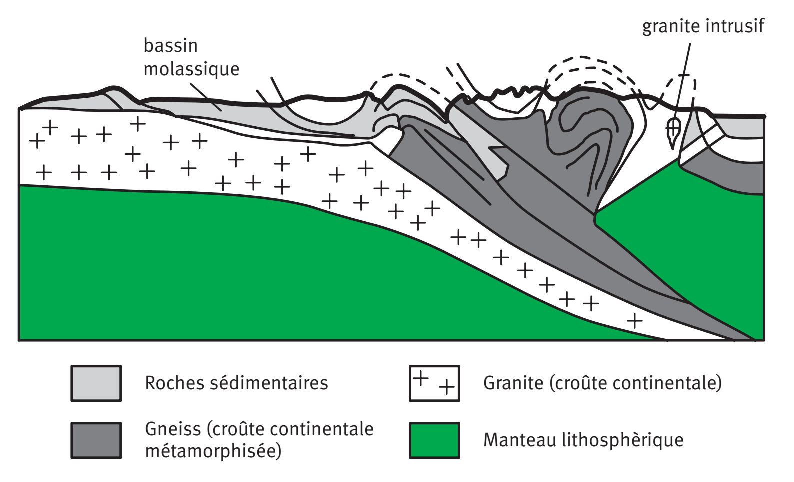
G
H
G
H



Exercice 3 Les indices tectoniques

Question

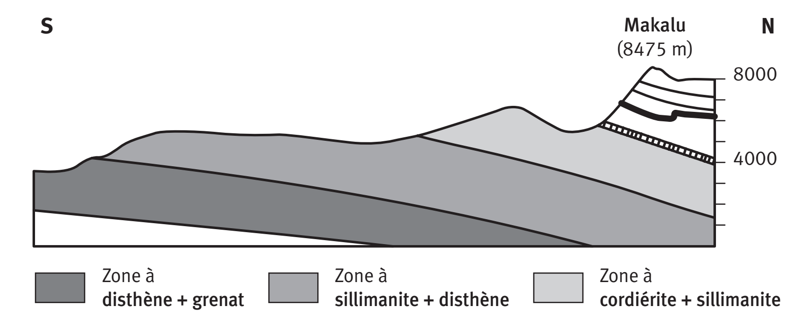
❶ **S'informer** sur la coupe des Alpes, légender les indices tectoniques qui témoignent d'un raccourcissement et d'un empilement de la croûte permettant la formation des montagnes.



Exercice 4 Les géothermomètres et géobaromètres de la chaîne de l'Himalaya

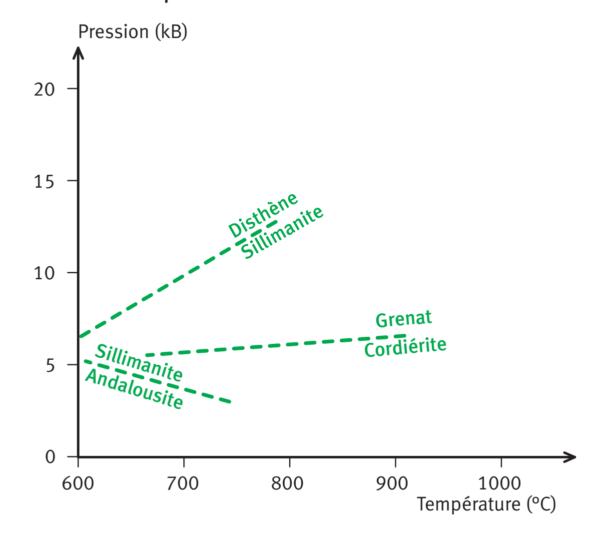
Raisonner

La coupe Sud-Nord, effectuée au niveau du Makalu, dans la chaîne de l'Himalaya, permet d'observer diverses associations minéralogiques indiquées ci-dessous :



Questions

❶ Grâce aux caractéristiques géophysiques des minéraux, préciser les limites de température et de pression caractérisant les secteurs a, b et c trouvés sur la coupe.

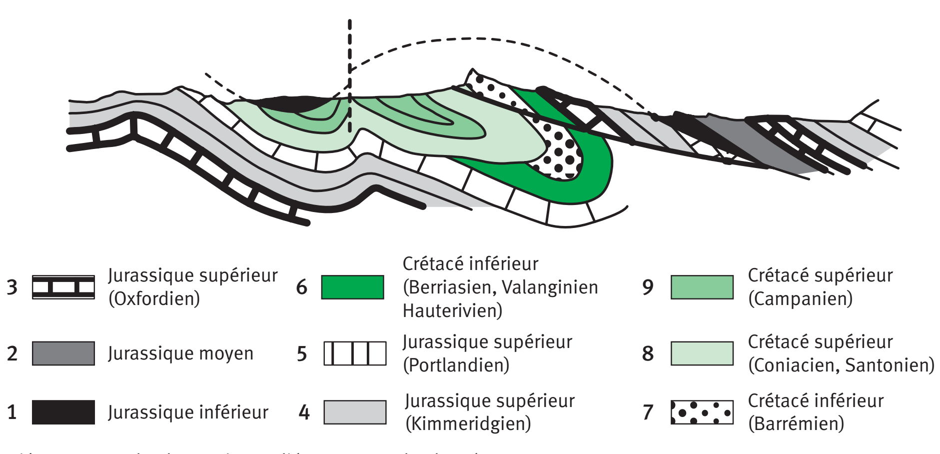


❷ Quelles sont globalement les conditions P et T révélées par ce secteur de la chaîne himalayenne ?

Exercice 5 — Évolution tectonique de la Sainte-Baume (Provence)

Document 1 Une coupe géologique simplifiée du chaînon de la Sainte-Baume et de ses abords à l'est de Marseille.

Question ❶ À partir de l'analyse de cette coupe et des données fournies par l'échelle des temps géologiques, **dégager** les étapes et la chronologie de l'évolution tectonique régionale.



L'époque 1 est la plus ancienne, l'époque 9 est la plus récente

Exercice 6 — Analyse comparée de trois échantillons de roches

Les documents 1, 2 et 3 sont des photographies d'échantillons de roches (notés respectivement X, Y et Z). Ces échantillons sont des morceaux de carottes de roches prélevées lors de la construction du tunnel sous le mont Blanc. Les clichés, bien qu'en noir et blanc, permettent une identification des minéraux. L'observation de n'importe quelle face de l'échantillon X aurait donné un cliché semblable à celui de la figure 1.

Ce n'est pas le cas pour les échantillons Y et Z.



Document 1



Document 2



Document 3

Questions

❶ **Analyser** de manière comparative les deux échantillons des documents 1 et 2.

❷ **Analyser** l'échantillon du document 3 de composition minéralogique proche des précédents.

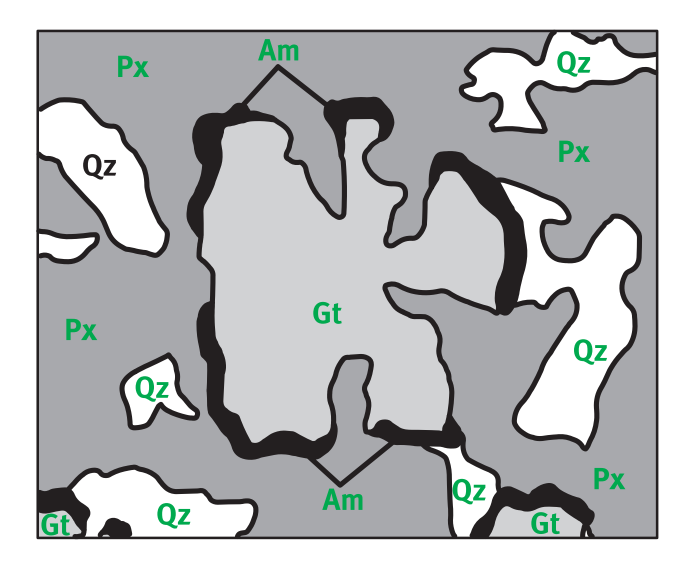
❸ **Établir** les liens susceptibles d'exister entre ces divers échantillons.

Exercice 7 Détermination d'un processus tectonique à partir de l'analyse d'une lame mince

Question **S'informer et raisonner**

❶ Sachant que la roche mère de l'échantillon étudié est un gabbro, **indiquer** le type de métamorphisme qu'a subi cette roche et **nommer** le contexte tectonique.

Document 1 ***Schéma interprétatif de la lame mince de l'échantillon***



Am : amphibole

Gt : grenat

Px : pyroxène

Qz : quartz

Exercices du chapitre 4

Exercice 1 Observation d'un paysage breton

S'informer et raisonner

À Erquy, au travers des grès roses, on peut observer des filons de dolérite.

Une dolérite est une roche magmatique intermédiaire entre le gabbro et le basalte. C'est une roche compacte, constituée de grains visibles à la loupe. De teinte verdâtre à bleuâtre, elle est composée de plagioclase en latte (ou baguette) englobé par des pyroxènes.

Document 1 ***Chaos de dolérite***



Document 2 ***Débit en boule et pelures d'oignon***



Questions

1. À l'aide des principes de datation relative, **raconter l'histoire** géologique de ce paysage breton.
2. **Expliquer par un schéma** accompagné de quelques lignes le paysage observé (condition de formation du chaos et débit en boule).

Exercice 2 La formation des sols

S'informer

Document 1 ***Falaise de grès rose d'Erquy***



Questions

❶ **Légender le document** en indiquant les légendes : couvert végétal, sol, roche mère.

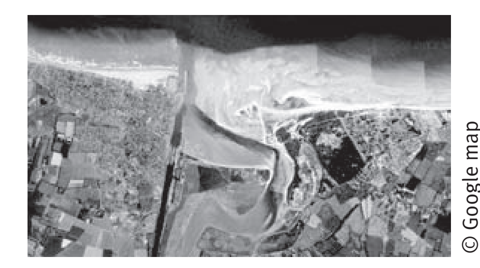
❷ **Repérer sur la photo** les éléments qui ont ralenti, accéléré et permis l'érosion.

❸ Sachant que le grès est une roche sédimentaire issue de l'accumulation des produits de l'érosion d'un granite, **citer les éléments** que l'on pourrait retrouver dans ce grès et, parmi ceux-ci, ceux qui peuvent être altérés.

Exercice 3 Les dunes de Normandie

Raisonner

On trouve près, de l'embouchure de l'Orne, des dunes résultant de l'accumulation de sable, essentiellement constitué de grains de quartz.



© Google map

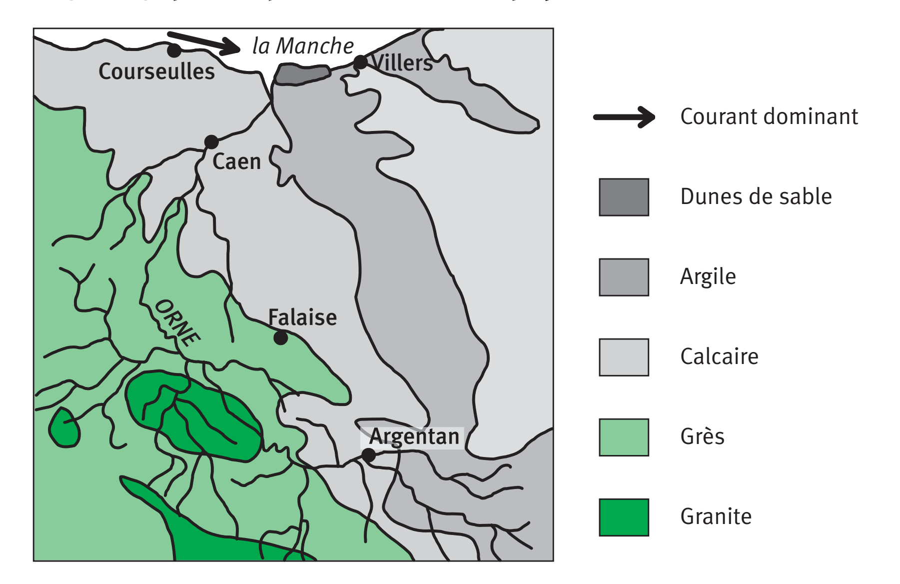
L'embouchure de l'Orne à Ouistreham



© Google map

Les terres émergées correspondantes

Document 1 *Carte géologique simplifiée de l'arrière-pays du bassin de l'Orne*



Questions

❶ **Expliquer l'accumulation** de sable à l'est de l'embouchure de l'Orne.

❷ Parmi les roches affleurant de cette région, **préciser** celles qui pourraient être à l'origine des sables.

Exercice 4

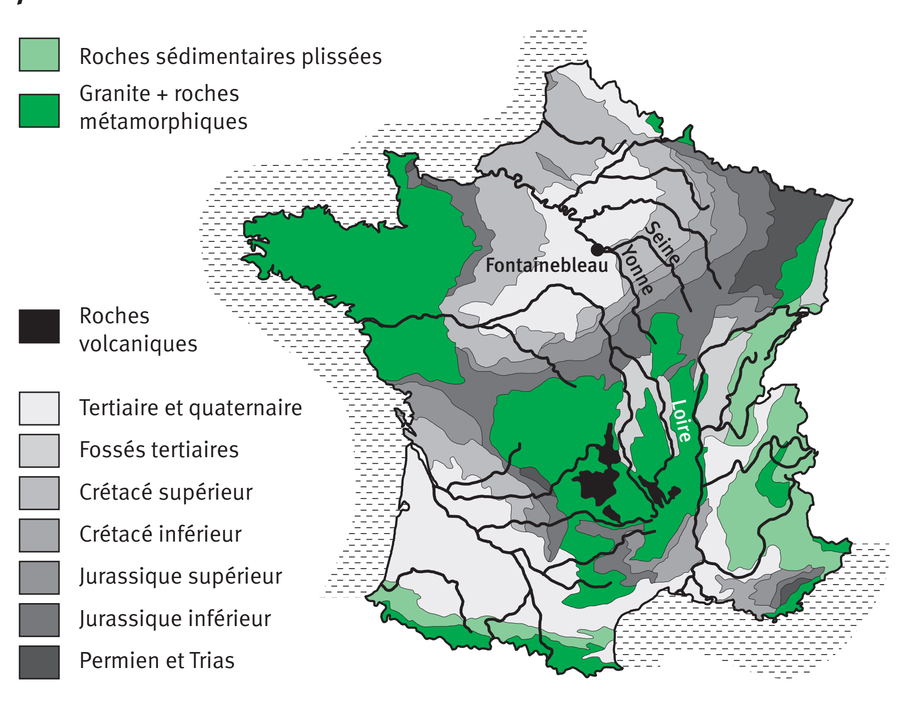
Le sable de Fontainebleau

S'informer et raisonner

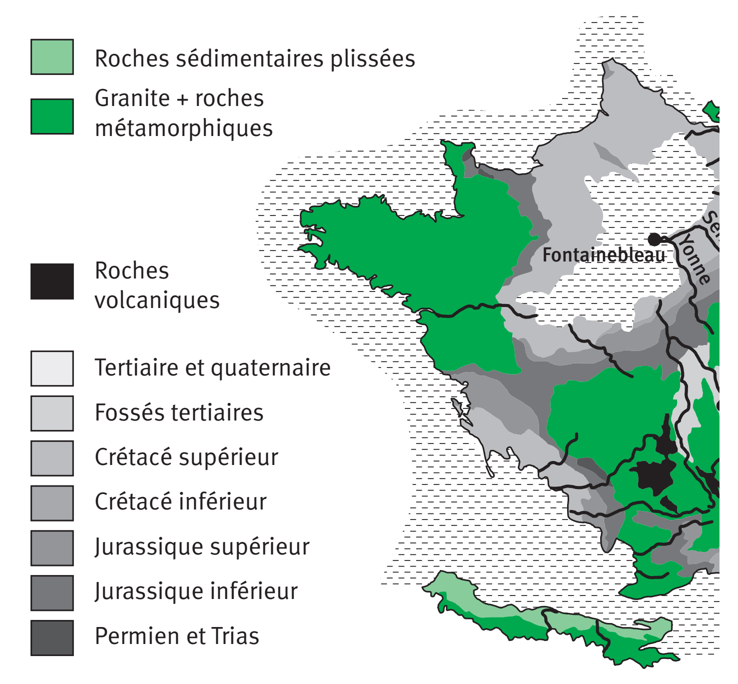
Le sable de Fontainebleau est un sable fin, blanc, de très grande pureté (97 à 99 % de quartz). Il s'étend de Nemours à Etampes et Dourdan sur près de 50 km.

On cherche à connaître l'origine de ce sable.

Document 1 *Répartition des roches en France*



Document 2 ***La France il y a 30 millions d'années***



Question ❶ À l'aide d'une démarche scientifique rigoureuse, **identifier** l'origine des sables de Fontainebleau.



Devoir autocorrectif

Important Ce devoir n'est pas à envoyer à la correction.

Partie 1 (10 points) : Histoire de la chaîne alpine

Présenter les marqueurs géologiques qui permettent de montrer que la chaîne alpine résulte d'une collision de deux lithosphères continentales.

Votre exposé sera illustré par deux schémas, au minimum.

Partie 2 (5 points) : QCM

1. Un isotope radioactif se désintègre en :

- **a.** isotope stable.
- **b.** isotope radiogénique.

2. Au cours du temps, une certaine quantité initiale d'éléments radioactifs :

- **a.** diminue.
- **b.** augmente.

3. La demi-vie d'un élément radioactif, c'est :

- **a.** le temps nécessaire pour que la moitié de la quantité d'éléments père disparaisse.
- **b.** le temps nécessaire pour que la moitié de la quantité d'éléments fils disparaisse.

4. Le chronomètre radioactif démarre quand le système où se trouve le radiochronomètre :

- **a.** s'ouvre.
- **b.** se ferme.

5. La fermeture du système pour la méthode Rb-Sr est :

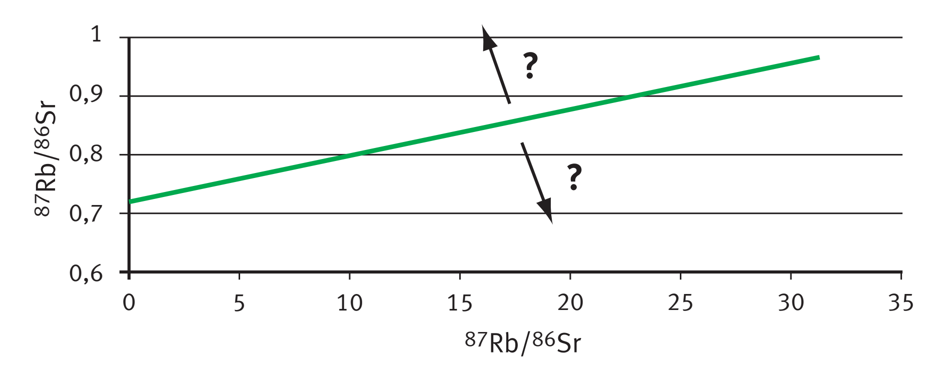
- **a.** la cristallisation de la roche.
- **b.** la fonte d'une roche.

6. La quantité initiale :

- **a.** de Rb 87 (père) est connue et celle de Sr87 (fils) est connue.
- **b.** de Rb 87 (père) est inconnue et celle de Sr87 (fils) est connue.
- **c.** de Rb 87 (père) est inconnue et celle de Sr87 (fils) est inconnue.

d. de Rb 87 (père) est connue et celle de Sr87 (fils) est inconnue.

7. Sachant qu'au cours du temps la quantité de Rb87diminue et celle de Sr87 augmente, la pente de la droite isochrone :

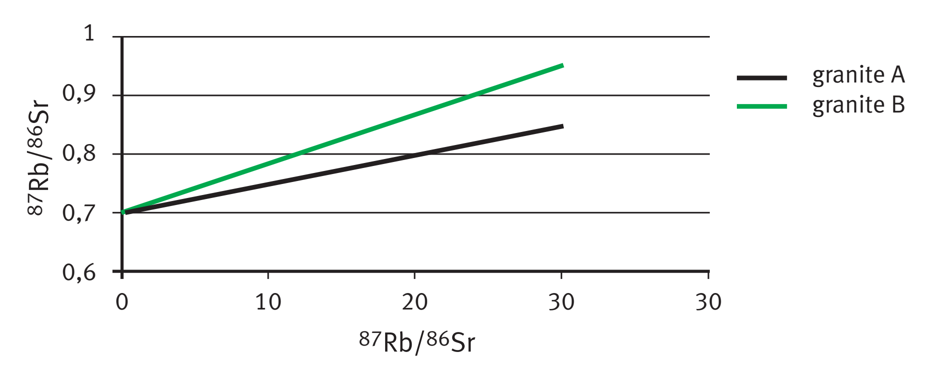


a. diminue.

b. augmente.

8. Quelle est la roche la plus récente ?

Méthode des isochrones $^{87}Sr/^{86}Sr = f(^{87}Rb/^{86}Sr)$



a. La roche B.

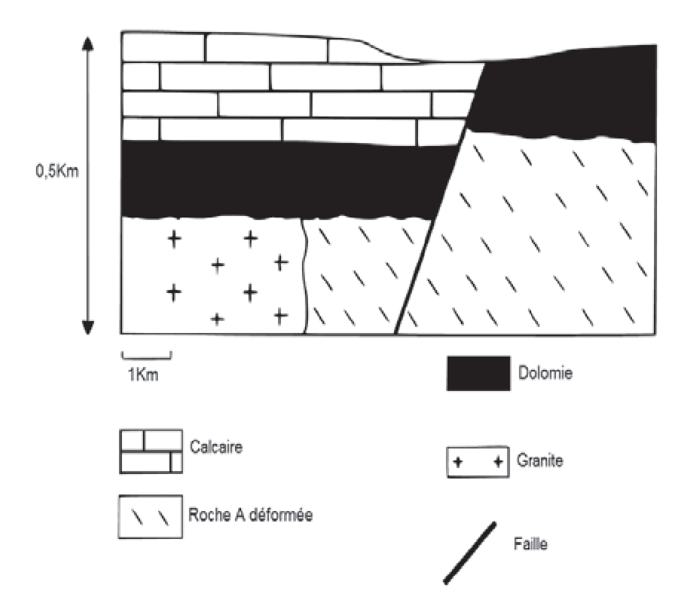
b. La roche A.

Partie 3 : La mesure du temps dans l'histoire de la Terre et de la vie

En utilisant les informations fournies dans les trois documents, **établir** la chronologie des événements géologiques observés sur la coupe du document 1 :

- dépôts des calcaires,
- dépôts des dolomies,
- mise en place du granite en déterminant son âge absolu,
- mise en place des roches A,
- faille.

Document 1 *Coupe simplifiée*



Document 2a *Fossiles présents dans les calcaires et les roches A*

Couche / Fossiles	Calcaire	Roches A
présents	**Ammonites de la famille des Lytocératidés**	**Trilobites de la famille des Olénellidés**
Exemple		

Document 2b *Échelle stratigraphique en millions d'années*

Ère mésozoïque	-145 à -65	Crétacé	
	-200 à -145	Jurassique	*Lytocératidés*
	-245 à -200	Trias	
Ère paléozoïque	-290 à -245	Permien	
	-362 à -290	Carbonifère	
	-408 à -362	Dévonien	
	-439 à -408	Silurien	
	-510 à -439	Ordovicien	
	-570 à -510	Cambrien	*Olénellidés*

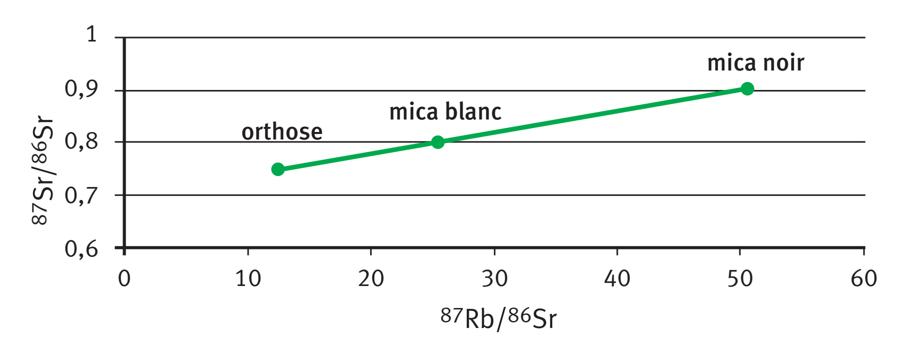
Document 3a

Datation du granite à partir de certains éléments radioactifs présents dans les minéraux de cette roche

Certains minéraux du granite ont incorporé, lors de leur formation, du rubidium ^{87}Rb ainsi que du strontium ^{87}Sr et ^{86}Sr. Au cours du temps, la quantité de strontium (^{87}Sr) augmente. Elle provient de la désintégration du rubidium ^{87}Rb. Un spectromètre de masse a mesuré dans les minéraux du granite les nombres d'atomes (N) de ^{87}Sr, ^{86}Sr et ^{87}Rb. Les résultats sont exprimés sous la forme d'un rapport isotopique. Le taux de strontium actuel correspond à :

$$\frac{N^{87}Sy}{N^{86}Sy}_{mesuré} = \left(e^{\lambda t}-1\right)\left(\frac{N^{87}Rb}{N^{86}Sr}\right)_{mesuré} + \left(\frac{N^{87}Sr}{N^{86}Sr}\right)_{initial}$$

Avec la constante de désintégration $\lambda = 1{,}42.10^{-11}$



La méthode des isochrones est utilisée pour déterminer l'âge du granite, noté t. On construit une droite à partir des couples ($^{87}Rb/^{86}Sr$; $^{87}Sr/^{86}Sr$) de certains minéraux du granite (orthose, mica blanc, mica noir).

La droite obtenue d'équation y = ax + b est nommée isochrone. On en déduit que : $t = \frac{\ln(a+1)}{\lambda}$

Document 3b

Table de valeurs de la fonction $t = \frac{\ln(a+1)}{\lambda}$

Coefficient directeur de l'isochrone noté a	Âge du granite noté t en millions d'années
0,001	70,4
0,002	141
0,003	211
0,004	281
0,005	351
0,006	421
0,007	491
0,008	561
0,009	631
0,01	701